

TRATTATO ELEMENTARE

DI

FISICA

DI G. DESPRETZ

TOMO II.

TRATTATO ELEMENTARE

DI

FISICA

MAGNETISMO

384. È stato chiamato col nome di *calamita* un minerale, che ha la proprietà d'attrarre il ferro, il cobalto e il nickel. Questo minerale non è altro che l'ossido intermedio del ferro; e quasi tutti i minerali di quest' ossido sono calamite naturali.

I tre metalli citati di sopra hanno la proprietà di poter diventare calamite artificiali. Ma se questa proprietà appartenga esclusivamente ad essi, o sia generale per tutti i minerali, lo vedremo al fine di questo trattato.

Proprietà generali delle calamite

385. 1.° Se si avvolga una calamita nella limatura di ferro, e quindi se ne ritiri, si vede cospersa di limatura, disegualmente attaccata su varii punti della superficie; e si chiamano *poli* i due punti opposti, sui quali si fissa in maggior quantità la limatura (*fig.* 241).

2.° L'azione magnetica si esercita a distanza. Presentando un polo d'una calamita ad un piccolo ago di ferro sospeso a un filo flessibile, questo viene attratto.

3.° La virtù magnetica opera indifferentemente a traverso di tutte le sostanze conduttrici o non conduttrici dell'elettricismo.

4.° Per la conservazione della proprietà magnetica, non è necessario l'isolamento; come neppure l'altera il contatto di estranee sostanze.

5.° Una calamita che può muoversi liberamente nel piano oriz-

zontale, prende sempre in Europa (*a*) una direzione poco diversa da quella del meridiano (1). L' angolo che forma l'ago col meridiano si chiama *declinazione*, la quale presentemente a Parigi è 22° 20′ in circa (2). Un ago libero di muoversi in tutti i sensi, si ferma in una situazione alquanto inclinata all' orizzonte, e l'angolo formato dalla direzione dell' ago con l' orizzonte, si chiama *inclinazione*. La declinazione è diversa nei diversi luoghi, e varia anco col tempo nel luogo stesso: l' inclinazione in alcuni luoghi è nulla: ma dell' una e dell' altra parleremo in seguito.

6.° Quando molti aghi calamitati son liberi nel piano orizzontale, quelle fra le loro estremità che si voltano verso il medesimo polo del mondo, debbon avere lo stesso magnetismo; e si osserva che son quelle appunto le quali nell' esser calamitate sono state a contatto con un medesimo polo. Avvicinate le une alle altre, si respingono scambievolmente, e al contrario le estremità che hanno ricevuto magnetismo diverso, si attraggono. Inoltre quando si presenta il polo d' una calamita ad un ago calamitato, libero nel piano orizzontale, questo è sollecitato dai due poli, ma obbedisce a quello a cui è più vicino; e verso questo volta il polo di nome contrario; e se quando si è fermato si voglia stornarlo, esso vi ritorna dopo un certo numero d'oscillazioni.

L' azione del globo è similissima a quella della calamita. Un ago calamitato torna sempre nel meridiano magnetico, e volta lo stesso polo verso lo stesso punto del globo. Da ciò è derivata la denominazione dei due magnetismi, e si chiama *boreale* quello che domina nella parte boreale del globo, e *australe* quello che domina nell' emisfero australe: dunque bisognerà considerare l' estremità d'una calamita che si dirige verso il sud, come il polo boreale, e l' estremità che si dirige verso il nord, come il polo australe.

7.° Osservando i fenomeni magnetici si vede che la magnetizzazione non altera le dimensioni dei corpi che sono capaci d'esser calamitati; la qual verità resta evidentemente dimostrata da questa esperienza di Gay-Lussac. Empie egli d'acqua un cilindro d'acciaio, al quale adatta un tubo capillare pieno ancor esso in parte di acqua, e quindi magnetizzando il cilindro, osserva che presenta egual capacità tanto prima che dopo la magnetizzazione. Vedemmo già (n.° 284) che lo stesso accade dell' elettricismo.

8. Un corpo può esser reso magnetico anco a distanza. Una verga d' acciaio, sospesa ad un filo flessibile, e presentata all' azione d'uno dei poli della calamita, acquista i poli; e si noti,

(*a*) Nelle regioni polari l' ago calamitato prende una direziona molto diversa, che tende verso l' Est o l' Ovest.

(1) Questa direzione si chiama *meridiano magnetico*.

(2) In Firenze presentemente la declinaziona è 18° in circa.

che può ripetersi questa operazione a piacere, senza che scemi la virtù della calamita.

9.° Un filo di ferro puro torna dopo poco tempo nel suo stato naturale; e al contrario un filo d'acciaio conserva lungo tempo la virtù magnetica che ha acquistata, specialmente se è molto temperato. L'acciaio non è altro che ferro unito con alcuni centesimi di carbone. L'ossigene, il solfo, il carbone, l'antimonio, ec. contribuiscono a far conservare più lungo tempo la virtù magnetica. Il nickel e specialmente il cobalto posson conservare la virtù magnetica anco in stato di purità; tuttavia in questi metalli pure può accrescersi nello stesso modo che nel ferro, cioè con la tempera e con la combinazione di altre sostanze eterogenee. Il ferro, il nickel e il cobalto cessano d'esser magnetici, se le sostanze eterogenee con cui son combinati sieno in troppa quantità.

10°. Ad una temperatura molto alta, come quella dell'incandescenza, le sbarre calamitate perdono i loro poli, cioè tornano nello stato naturale: ma Gilbert ha osservato, che bisogna tenerle in un piano perpendicolare al meridiano magnetico, poichè altrimenti, nel raffreddarsi, si calamiterebbero per l'influenza del globo, e dopo il raffreddamento si conserverebbero calamitate; e ciò che è più singolare, Barlow e Woolvich hanno rilevato, che il ferro, il nickel e il cobalto, a questa medesima temperatura, divengono insensibili all'azione delle calamite. Secondo le esperienze di Coulomb, di A. F. Knpfer, ec., l'intensità magnetica d'un ago calamitato scema in proporzione dell'inalzamento della sua temperatura; e inoltre che la calamita, tornata alla sua temperatura primitiva, non riacquista mai tutta l'intensità magnetica che aveva prima d'esser riscaldata (*An. ch.* t. 30, p. 113). Finora peraltro è ignoto il rapporto fra il cambiamento di temperatura e il cambiamento d'intensità magnetica.

Che un freddo considerevole distrugga la virtù magnetica delle bussole, è un'opinione di alcuni marinari, ma senza verun fondamento; e in fatti un ago raffreddato per mezzo dell'evaporazione del solfuro di carbone, oscilla egualmente che prima del raffreddamento (*An. ch.* t. 21, p. 439).

11.° L'urto, la torsione, la scarica elettrica, la corrente voltaica, l'azione della Terra, possono fare sviluppare i poli in sostanze capaci d'esser magnetizzate.

Francklin ed altri fisici magnetizzavano fili d'acciaio per mezzo della scarica di batterie elettriche: ma poichè ottenevano effetti maggiori quando i fili eran situati nel meridiano magnetico, che quando erano posti in situazione verticale, essi ne attribuivano l'effetto principale all'azione del globo (Franckl. *lett.*

1773). Arago ha sviluppato un deciso magnetismo in aghi d'acciaio, tanto con una corrente voltaica continua, quanto con una corrente interrotta d'elettricismo ordinario: e ciò che prova che la magnetizzazione non resulta dall'influenza del globo si è, che due aghi situati uno nel meridiano, l'altro in un piano perpendicolare, acquistano un grado sensibilmente eguale di magnetismo. Ciò meglio si vedrà, quando parleremo dei fenomeni elettro-dinamici.

Il Ridolfi, molto tempo dopo le esperienze d'Arago, è giunto a produrre la magnetizzazione dell'acciaio con una corrente continua, ma facendola passare per un filo avvolto a spirale (*a*). L'effetto dell'urto sopra una sbarra di ferro o d'acciaio non è molto sensibile, se non quando la sbarra è situata nel meridiano magnetico: sicchè l'urto non fa che servire d'aiuto all'azione del Globo La torsione poi, considerata come mezzo di magnetizzazione, è stata fin ora poco studiata. Del resto, da quanto abbiamo detto si comprende, perchè gli strumenti de' fabbri sono sempre in uno stato magnetico, e come il fulmine inverte i poli delle bussole.

Della legge delle azioni magnetiche

386. Prima di stabilire la teoria dei fenomeni magnetici, esporremo la legge alla quale son soggette le forze che determinano questi fenomeni. Lambert (*Ac. de Berl.* 1766) aveva osservato, che l'ipotesi d'un'intensità reciproca al quadrato della distanza, soddisfaceva alle sue esperienze ed a quelle di Muschenbroech; e Coulomb ha dimostrato questa legge con esperienze dirette, e con due metodi diversi ha ottenuto questo resultamento. Per mettere in pratica il primo, bisogna conoscere il modo con cui il Globo agisce sopra una calamita orizzontale, slontanata dal piano magnetico. A tale effetto si determina prima la direzione del piano magnetico per mezzo d'un buon ago calamitato; quindi si attacca al filo di sospensione un astuccio (*fig.* 242) in cui dee porsi la sbarra calamitata; e perchè questa sia sempre nella stessa situazione, si copre il fondo orizzontale dell'astuccio con uno strato di cera-lacca fusa, sul quale si forma l'impronta della sbarra calamitata.

Primieramente si mette nell'astuccio un ago d'una materia non magnetica, e si gira il micrometro, finchè l'ago sia in ri-

(*a*) Savary che modernamente ha studiato questi fenomeni, ha osservato un fatto singolarissimo, cioè che scariche elettriche gradatamente crescenti in intensità, determinano successivamente la magnetizzazione in senso inverso, e che le scariche intermedie non producono veruna magnetizzazione. (*An. ch.* Genn. e Febbr. 1827).

posto in faccia allo zero della divisione: allora si dispone tutto l' apparecchio in modo, che l' ago, corrispondente sempre allo zero, si trovi nel piano magnetico, e in sua vece si pone la sbarra calamitata. Quella di cui si è servito Coulomb per le sue esperienze, era lunga 24 poll., e aveva $1^{l}\ \frac{1}{2}$ di diametro, ed ecco i resultamenti che egli ha ottenuti.

Torsione data al micrometro superiore.	Angolo di deviazione ove si è fermato l' ago	Numero di gradi di torsione: forza di torsione.
0	0°	0°
1	$10\ \frac{1}{2}$	$349\ \frac{1}{2}$
2	$21\ \frac{1}{4}$	$698\ \frac{1}{4}$
3	33	1047
4	46	1394
5	$63\ \frac{1}{2}$	$1736\ \frac{1}{2}$
5,5	85	1895

Da questa tavola si rileva, che la forza direttrice della Terra è proporzionale ai seni degli angoli di slontanamento. Nei piccoli angoli, che sono eguali ai loro seni, essa è proporzionale allo slontanamento stesso: così i numeri 1047, $698\ \frac{1}{4}$, $349\ \frac{1}{2}$, esprimenti i gradi di torsione, son proporzionali a 33°, $21°\ \frac{1}{4}$ e $10°\ \frac{1}{2}$, angoli di slontanamento. (*Mem. de Coulomb. Acad. des Sc.*).

Ciò premesso, basterà conoscere il numero dei gradi di torsione corrispondente ad una data distanza, per dedurne il valore della forza direttrice d' un grado. Il citato fisico trovò che due circoli di torsione facevano restare la sua sbarra a 20° di distanza dal meridiano magnetico, la forza di torsione essendo $720-20=700$: e poichè la forza direttrice, secondo le esperienze citate di sopra, è proporzionale all' angolo di slontanamento, quando questo è piccolo, il valore d' un grado di slontanamento sarà $\frac{700}{20}$, ossia 35° di torsione.

Lo stesso Coulomb pose poi verticalmente accanto alla sbarra orizzontale un' altra sbarra di egual dimensione, e vide che le due sbarre nel toccarsi per i poli dello stesso nome presentavano repulsione. La sbarra orizzontale era la sola libera di muoversi. Ecco i resultamenti delle sue osservazioni.

Angolo di repulsione	Forza di torsione
24°	o circoli
17	3
12	8

Nella prima esperienza la sbarra orizzontale è stata spinta a 24°, ed ivi è rimasta. La forza direttrice del Globo tendeva a ridurla nel meridiano magnetico con una forza eguale a 24×35=840 Aggiungendo a 840 la torsione del filo, che qui è 24, abbiamo per la forza repulsiva totale delle due calamite 840+24=864°.

Nella seconda, la sbarra faceva un angolo di 17° col meridiano magnetico; l'azione del Globo era 17×35=935°; la torsione impressa al filo dal micrometro superiore, era eguale a tre circoli, ossia 360×3; finalmente la torsione del filo prodotta in senso inverso della prima, e che però deve esser aggiunta a quella, era 17°; sicchè la forza totale a cui faceva equilibrio la repulsione magnetica, era 17×35+360×3+17=1692°. Parimente per la terza esperienza si troverebbe per la forza totale 12×35=420°, più 8 circoli + 12°, ossia 3312°. Si osservi che in queste tre esperienze gli archi essendo piccolissimi, si posson confondere con le corde: dunque le distanze successive sono 24, 17, 12. Le forze repulsive corrispondenti sono 864, 1692, 3312, le quali si vede che sono in ragione inversa del quadrato delle distanze. Così le ultime due esperienze danno la proporzione $24^2 : 12^2 :: 3312 : 864$. Da altre simili esperienze eseguite su poli di nome contrario, son derivati gli stessi resultamenti.

Nelle ricerche di questo genere bisogna far uso di aghi molto lunghi, per poter trascurare l'azione degli altri poli. Il polo di nome contrario dell'ago verticale con la sua attrazione impedisce la repulsione dell'ago orizzontale; ma poichè l'arco maggiore di repulsione non è stato che di 24°, il che corrisponde ad una distanza di 5 pollici, e in conseguenza l'altro polo si è sempre trovato almeno quattro volte più lontano, la sua azione era sedici volte minore; e dall'altra parte questa forza era anco indebolita dalla grandissima obliquità secondo la quale operava. Bisogna osservare ancora di non adoprare che acciaio durissimo e temperatissimo, affinchè l'azione scambievole delle calamite non possa sviluppare nuovo magnetismo

Citeremo qui un'esperienza semplice, e adattata a dare un'idea del modo con cui si esercitano le attrazioni e le re-

pulsioni magnetiche. Si prendono due sbarre calamitate di egual forza, e si presentano successivamente ambedue ad una chiave; questa è attratta, qualunque sia il polo che le vien presentato; ma se mentre è sostenuta da questo polo, si avvicini a questo il polo contrario d'un'altra sbarra, la chiave subito cade.

Dei processi di magnetizzazione

Considereremo questi processi soltanto come resultamenti delle esperienze.

Metodo del semplice contatto

387. Quantunque per magnetizzare a un certo grado un filo di ferro o d'acciaio, basti metterlo a contatto con una calamita, tuttavia non si ottiene con ciò se non un debolissimo magnetismo; e per averlo in grado maggiore, è necessario fare strisciare la sbarra calamitata lungo il filo che si vuol calamitare, osservando di ripeter l'operazione sempre per il medesimo verso; e questa operazione si chiama *magnetizzazione per contatto.* Se il polo della calamita a contatto col filo o con la sbarra è il polo australe, attrarrà il magnetismo boreale, e respingerà l'australe (*fig.* 243).

La confricazione costantemente diretta nel medesimo senso, sviluppa un magnetismo più energico che il semplice contatto. Ma poichè il polo australe opera sempre per repulsione sul magnetismo australe della sbarra, ne segue che col suo moto distrugge una parte dell'effetto prodotto; quindi il magnetismo australe che in principio era accumulato nella parte *n* in conseguenza dell'azione del polo A della calamita, si trova spinto verso la parte opposta, quando la calamita è giunta in *n*. Quindi è che non si fa mai uso di questo metodo, quando si vogliono sbarre potentemente magnetizzate: infatti in tal modo non si otterrebbero mai sbarre calamitate a saturazione, cioè ridotte ad uno stato in cui la somma delle forze attrattive e repulsive del magnetismo libero, sia eguale alla resistenza opposta dalla forza coibente della sostanza da magnetizzarsi (1).

(1) Per *forza coibente* qui si intende la proprietà che ha un corpo d'intercettare il passaggio all'azione magnetica; nel qual senso il ferro è il massimo coibente conosciuto dell'azione medesima.

Metodo del doppio contatto

388. L'uso di due calamite, nel modo indicato dalla *fig.* 244, è molto più vantaggioso. Queste si dispongono verticalmente, in modo che i poli di nome contrario A e B si corrispondano, e si fa strisciare ciascuna calamita in questa situazione, portandola alternativamente dal mezzo all'estremità che è dalla sua parte: dopo un certo numero di confricazioni, e quando le due calamite si trovano nel mezzo della sbarra, si tolgono perpendicolarmente ad essa. Da questa operazione resulta, che ciascuna estremità della sbarra acquista un magnetismo di nome contrario a quello del polo della calamita con la quale è stata a contatto.

È chiaro che le due calamite si secondano scambievolmente; cioè il polo A della calamita C si trova in *m*, estremità della sbarra d'acciaio, attrae in *m* il magnetismo boreale, e respinge l'australe; e la calamita D, all'estremità opposta *n*, produce l'effetto opposto. Questo metodo fu inventato dal Micheli.

Epino credeva, che si ottenesse un vantaggio reale inclinando ciascuna sbarra ad angolo di 15 o 20 gradi (*fig.* 245), ma sembra che questo metodo faccia nascere punti *conseguenti*, l'azione dei quali impedisce l'azione principale dei poli estremi; e per punti *conseguenti* si intendono i poli sviluppati fra i due poli estremi, i quali punti si conoscono col presentare alla sbarra mal calamitata il polo d'un piccolo ago calamitato. Coulomb osservò che poteva correggersi questo inconveniente col riprincipiar la confricazione, cominciando dal mezzo. Si osservi che per questo metodo del doppio contatto, bisogna far uso di calamite potentissime.

Del resto, per quanto efficace sia questo metodo, tuttavia può rendersi anco più energico. Knight, fisico inglese, fin dal 1745 aveva imaginato un processo, nel quale egli pure adoprava il concorso di due calamite per sviluppare il magnetismo in sbarre d'acciaio. Univa per i poli di nome contrario due sbarre fortemente calamitate; poneva quindi su queste grosse sbarre e nel senso della loro lunghezza una piccola sbarra d'acciaio temperato a rosso ciriegia, in modo che il suo mezzo corrispondesse all'unione delle due calamite; allora separava queste, facendole strisciare, ognuna dalla sua parte, fino alle estremità della piccola sbarra.

Duhamel in Francia e Canton in Inghilterra (*Transact. phyl. an.* 1751, 1752) aggiunsero ai metodi precedenti un nuovo grado di perfezione. Il loro metodo consiste nel formare un pa-

rallelogrammo (*fig.* 246) con quattro sbarre, due di ferro dolce e due d'acciaio temperato, e si tratta di calamitare queste ultime. Primieramente si magnetizza per mezzo del doppio contatto una di queste sbarre CD, che acquista poli determinati, posti come apparisce nella figura: dopo un certo numero di confricazioni si volta la sbarra, e si ripete la stessa operazione sull'altra faccia. La stessa operazione si ripete successivamente sull'altra sbarra HK, osservando di rovesciare le calamite, perchè i poli della sbarra HK sono in senso contrario a quelli della sbarra CD. Le due sbarre di ferro dolce, nelle quali si sviluppa il magnetismo per il solo contatto, servono a conservare nelle sbarre d'acciaio sottoposte all'esperienza il magnetismo alle estremità. In altro modo ancora potrebbe calamitarsi una sbarra, cioè posandola sopra le due sbarre di ferro dolce (*fig.* 247).

Meglio ancora sarebbe l'adoprare per sbarre ausiliarie, sbarre già calamitate. In tal caso è chiaro, che bisognerebbe prima porle in situazioni respettivamente analoghe a quelle rappresentate dalla figura, in cui i poli di nome contrario sono a contatto. Le sbarre d'acciaio, di nickel e di cobalto, magnetizzate con uno degl'indicati processi, son quelle che si chiamano *calamite artificiali*. Spesso si riuniscono in un un sol fascio più sbarre (*fig.* 248), mettendo insieme i poli dello stesso nome, e talora a queste sbarre o sole o riunite si dà la forma di ferro di cavallo (*fig.* 249), e in tutti questi sistemi, la sbarra che è nel mezzo, sorpassa le altre di qualche linea.

Delle Armature

389. È ben raro trovar calamite, che quali escono dal seno della terra abbiano un magnetismo molto energico. L'esperienza ha insegnato, che si conserva e anco si accresce la virtù magnetica alla calamita, tenendola involta nella limatura di ferro. Ciò suggerì l'idea delle *armature*, chiamando così quelle lame di ferro dolce *acd* (*fig.* 250) che in forma di squadra si applicano alle facce della calamita, e le quali divenendo esse pure magnetiche per l'influenza di quella, ne accrescono col tempo l'energia.

Sieno A e B i poli della calamita: ciascuno di questi poli agisce sulla lastra che gli è adiacente, in modo da attrarre il fluido di nome contrario, e respingere nel piede *d* dell'armatura il fluido dello stesso nome. Da ciò resulta che ciascun piede acquista il magnetismo del polo che è a contatto con l'armatura, e dall'altra parte il fluido dell'armatura agisce a vicenda sulla calamita; e da questa combinazione d'azioni reciproche, dipende la proprietà che ha l'armatura di accrescere il potere della calamita. È importante aver riguardo alla grossezza delle armature;

ma questa non può determinarsi che con la pratica. Nella stessa figura, *pr* rappresenta una lastra con un anello, destinato a sostener pesi. Si caricano egualmente le calamite artificiali e le naturali; e dall' esperienza resulta che tanto le une quanto le altre, caricate in tal modo, acquistano una forza maggiore

Un' altra osservazione singolare è stata fatta, cioè che le piccole calamite artificiali reggono pesi proporzionatamente più considerevoli. Coulomb aveva accuratamente formate alcune calamite che pesavano venti libbre, e non reggevano che cento libbre, cioè il quintuplo del loro peso, mentre secondo Ingen-Houz alcune piccole calamite reggono un peso cento volte maggiore di se stesse.

Distribuzione del Magnetismo

390 Quando si rivoltola una calamita nella limatura di ferro, si trova che questa rimane attaccata alle due estremità della calamita in grande abbondanza, e pochissima ne resta nel mezzo (*fig.* 241). Potrebbe dunque approssimativamente conoscersi in tal modo la distribuzione del magnetismo in una calamita, deducendola dal peso della limatura di ferro attaccata in ciascuno dei suoi punti Si rileva ancora la distribuzione del magnetismo in una sbarra calamitata, presentando a diversi punti di essa un ago orizzontale, giacchè si vede che esso è molto più agitato quando si trova in vicinanza delle estremità di essa.

Il metodo usato da Coulomb per questa ricerca è semplicissimo. Primieramente si dispone la bilancia in modo, che un ago non calamitato stia nel meridiano magnetico, senza che il filo abbia sofferta veruna torsione. Sulla direzione del medesimo piano si pone una verga o un regolo grosso due millimetri, in tal modo che l'ago venga ad applicarvisi: accanto a questa verga si fissa verticalmente una sbarra calamitata, e invece dell' ago orizzontale non magnetico, si pone una sbarra calamitata: le due sbarre son situate in modo, che i poli dello stesso nome sono in faccia l' uno all' altro; la sbarra orizzontale è spinta in principio ad una certa distanza, ma si riporta a contatto col regolo torcendo convenientemente il filo di sospensione. Questa torsione può considerarsi come l' espressione della repulsione dei punti vicini: primieramente poichè la sbarra orizzontale è nel meridiano magnetico, l' azione del globo non deve prendersi in considerazione: dall' altra parte i punti della sbarra verticale che si trovano qualche millimetro sopra o sotto il punto d' incrociamento, non contribuiscono alla repulsione a motivo della loro distanza e dell' obliquità della loro azione. Da ciò resulta, che facendo strisciare la calamita verticale lungo la

verga, in modo da presentare tutti i suoi punti all' azione del polo repulsivo della calamita orizzontale, i gradi di torsione che bisognerà imprimere nel filo di sospensione, per conservare questa calamita orizzontale a contatto col regolo, indicheranno i numeri proporzionali alle quantità di fluido magnetico sparso sopra una metà di questa calamita verticale, e in conseguenza su tutta la sbarra, poichè le due metà son simili.

Quando si fanno queste esperienze sopra fili calamitati, si trova che se vi bisogna una torsione di 7 o 8 circoli, quando il punto d' incrociamento è distante 2 linee dall' estremità del filo verticale: alla distanza di 2 pollici bastano due o tre circoli di torsione: e quando l' estremità di questo filo oltrepassa di 3 pollici il filo orizzontale, la repulsione è quasi nulla.

Faremo qui l' osservazione che già facemmo quando cercavamo la legge delle azioni magnetiche, cioè che bisogna adoprar fili di acciaio ottimo e fortemente temperato, affinchè lo stato magnetico delle due sbarre non venga cambiato dalla loro azione reciproca: per la stessa ragione bisogna osservare di non dare ad esse un grado troppo forte di magnetismo.

391. Anco per un' altra strada Coulomb ha ottenuta la stessa determinazione. Secondo questo suo metodo, si mette primieramente il filo orizzontale nel meridiano magnetico, e si contano le oscillazioni che fa in un tempo dato, quando vien allontanato anco pochissimo da questo piano. Per i principii di Meccanica sappiamo, che l' azione del globo è proporzionale al quadrato di questo numero. Se si ripete l' esperienza presentando ad un filo orizzontale un filo verticale simile, in modo che i poli di nome contrario sieno l' uno in faccia all'altro, e se si allontana di nuovo il filo orizzontale dal meridiano magnetico, esso vi tornerà più rapidamente che quando non era soggetto all' azione del filo verticale, perchè vi si troverà condotto dalle azioni combinate del globo e del filo. La prima di queste forze è nota: se dunque si toglie il quadrato del numero d' oscillazioni fatte dal filo sottoposto all' azione del globo, dal quadrato del numero d' oscillazioni fatte dal filo sottoposto alla doppia azione del globo e del filo verticale nel tempo stesso, avremo l' azione esercitata dal filo verticale.

Il punto A (*fig.* 251), centro della grossezza della sbarra verticale N, situato nel piano della sbarra orizzontale M, sarà quello che avrà più sensibile azione, perchè agisce direttamente nel piano orizzontale sul quale oscilla M. I due punti estremi esercitano essi pure un' azione, quello più vicino al polo di M l' eserciterà maggiore, e quello più lontano l' eserciterà minore, dimanierachè la semi-somma di queste due azioni è sensibilmente eguale all' azione di A: così in ciascuna esperienza la parte del filo, l' azione del

quale sarà più potente, eserciterà una forza totale, proporzionata al magnetismo del punto A situato nel piano dell'ago. All'estremità dell'ago, ove l'aumento è rapidissimo, secondo Coulomb resulta un effetto doppio di quello osservato; ma questo resultamento non è che per approssimazione.

Resultamenti ottenuti con un filo lungo 27 poll. e di 2 lin. di diametro.

Distanza dall'estremità boreale del filo d'acciaio	Numeri rappresentanti le intensità del magnetismo libero.
0 pollici	165
1	90
2	48
3	23
4,5	9
6	6

La *fig.* 252 rappresenta la distribuzione magnetica delle sbarre calamitate.

Becquerel ha fatte alcune esperienze con fili sottilissimi di acciaio, che si è procurati sostituendo nel processo di Wollaston il mercurio all'acido nitrico (*An. de ch.* t. 22), ed ha trovato che in questi il magnetismo si distribuisce egualmente che nei grossi fili sperimentati da Coulomb; e tal distribuzione soddisfa appunto alle equazioni date da Biot. Inoltre ha pubblicato una nuova Memoria sull'elettricismo sviluppato dalle azioni chimiche (*An. ch.* t. 35), nella quale si trova un compendio di tutto ciò che ha fatto Davy su questo argomento, e qualche altra nuova osservazione dell'Autore.

392. Ecco le principali ipotesi per spiegare in qual modo si trovi disposto il magnetismo nelle calamite.

1.° Prima di Coulomb era opinione generale, che il magnetismo venisse trasportato nell'atto della magnetizzazione alle due estremità delle sbarre che si calamitavano. Secondo Coulomb il fluido e boreale e australe presenta soltanto piccolissimi spostamenti, e non esce dalle molecole alle quali apparteneva prima della magnetizzazione. Quest'opinione è appoggiata sopra i due fatti seguenti. Se si presenta una calamita ad un ammasso di aghi di ferro o d'acciaio non temperato, essa ne attrae moltissimi, i quali poi si attaccano gli uni agli altri; e se quindi si tolgon gli aghi dall'influenza della calamita, essi ritornano nello stato naturale, e quella non ha nè guadagnato nè perduto

nulla. Il secondo fatto è, che un frammento d'una calamita naturale o artificiale, per piccolo che sia, è dotato dei due poli boreale e australe.

2.° La seconda ipotesi è di Ampére, il quale considera in una calamita un sistema di correnti perpendicolari al suo asse. Ma lo sviluppo di questa sarà più opportuno e più chiaro nell'articolo dei fenomeni elettro-dinamici.

Azione del Globo sulle calamite

393. 1.° Un ago calamitato, trasportato in luoghi poco lontani, conserva sensibilmente la sua direzione; e ciò accade egualmente o venga esso trasportato in alto, o nel seno della Terra, sempre lungo la stessa verticale. Per cominciare a scoprire qualche leggiero cambiamento nella direzione d'un ago calamitato ordinario, bisogna che i punti d'osservazione sieno distanti molte leghe. Da questo fatto è stato concluso, che la forza magnetica del Globo può riguardarsi come agente parallelamente a se stessa, in luoghi poco lontani, come la forza di gravità, e che in conseguenza tutte le considerazioni di meccanica relative all'equilibrio dei corpi pesanti, potevano applicarsi ai corpi magnetici: solamente dobbiamo ricordarci, che essi sono nel tempo medesimo e pesanti e magnetici.

Col calcolo si dimostra, che l'intensità magnetica del Globo in un dato luogo, è proporzionale al quadrato del numero d'oscillazioni fatte da un ago in un tempo dato. Se un ago sia portato in due luoghi diversi, e faccia N oscillazioni nel primo, e N′ nel secondo nello stesso tempo, e chiamando G e G′ le intensità magnetiche del Globo nei due luoghi, avremo $G : G' :: N^2 : N'^2$.

2.° La magnetizzazione d'una sbarra d'acciaio non ne cambia il peso, il che prova che *la resultante verticale delle forze magnetiche è nulla.*

3.° Un ago calamitato posto sopra un galleggiante, o sospeso ad un sottil filo di seta, si dirige nel meridiano magnetico, ma non si muove nè verso il Nord nè verso il Sud, dal che si conclude, che le forze magnetiche orizzontali del globo si fanno equilibrio.

4.° Una sbarra d'acciaio o di ferro non temperato, messa nella direzione dell'ago d'inclinazione, in pochi minuti acquista poli magnetici, i quali son diretti come quelli dell'ago d'inclinazione; e se si rovesci la sbarra, vengon pure rovesciati i poli. Lo stato magnetico d'una sbarra si prova col presentare lo stesso polo d'un ago calamitato alle due estremità di essa, giacchè l'ago vien respinto dall'una, e attratto dall'altra. Se

la sbarra è di ferro dolce o d'acciaio non temperato, si magnetizza nel momento, e cessa dal magnetizzarsi appena si toglie dall'azione del Globo, cioè se venga posta in un piano perpendicolare all'ago d'inclinazione. Che se la sbarra è d'acciaio temperato, il magnetismo si sviluppa molto lentamente, ma quando è sviluppato si conserva.

Parliamo ora della declinazione e dell'inclinazione.

Declinazione

394. Abbiamo già detto, che l'ago calamitato, nello stesso luogo e nello stesso tempo prende una direzione determinata: e abbiam veduto parimente (n°. 386), che allontanato dal piano magnetico, vi è ricondotto da una forza proporzionata al seno dell'angolo di slontanamento.

Se si porti successivamente l'ago sui diversi punti del globo, se ne troverà pur qualcuno, ove la sua direzione sarà quella del meridiano del luogo; in altri si allontanerà da questo piano ora verso l'Occidente, ora verso l'Oriente.

395. La curva che passa per i diversi punti in cui la declinazione è nulla, è molto irregolare; e molte curve vi sono di questa natura, le quali si chiamano *linee senza declinazione*. Quattro specialmente se ne conoscono; la prima nel grande Oceano fra l'antico e il nuovo Mondo; la seconda quasi opposta alla precedente, nasce dall'Oceano australe, al mezzogiorno della nuova Olanda, e si prolunga al settentrione fino nella Lapponia; un'altra si separa da questa, vicino al grande Arcipelago d'Asia, e si eleva fino alla parte orientale della Siberia; e finalmente sono state trovate le traccie d'una linea senza declinazione nell'Oceano pacifico, vicino alle isole degli Amici e della Società. La situazione però di queste linee senza declinazione non è costante sul Globo.

In generale l'ago non ha la stessa direzione, ossia la declinazione cambia segno dalle due parti della linea senza declinazione. Un'eccezione a questa regola è stata osservata nella linea senza declinazione, che attraversa una parte della Siberia, giacchè l'ago posto a dritta o a sinistra di questa linea, si volta verso l'Oriente. A Parigi nel 1580 la declinazione era orientale di 11° 30'; nel 1653 era quella del meridiano; e dopo esser rimasta due anni in questa situazione, ha declinato verso Occidente. Ecco alcune osservazioni.

Nel 1678 la declinazione occidentale era	1° 30'
1700	8° 18'
1780	19° 55'
1805	22° 5'

1816 . . . . 22° 25′
1818 . . . . 22° 26′

Presentemente, secondo moltissime osservazioni fatte da Arago all' Osservatorio, sembra che l'ago si avvicini al meridiano, cioè che la sua declinazione scemi. Lo stesso ha osservato il colonnello Beaufoy nelle vicinanze di Londra. Fra il 1818 e il 1822 la retrogradazione annua è stata di 2′ incirca.

Fu creduto ancora, che l'ago calamitato conservasse la stessa direzione per un certo numero d'anni; così a Parigi dal 1720 al 1724, si conservò a 13° del meridiano; ma poichè a quell'epoca non si conosceva la variazione diurna, non si osservava l'ago calamitato, come si fa presentemente, a diverse ore del giorno; dunque può essere che l'ago variasse anco in quell'intervallo, senza che gli osservatori se ne accorgessero.

396. L'ago calamitato è soggetto ad una variazione diurna particolare, osservata regolarmente da Graham, Canton, Van Swinden e Cassini; e questi ha veduto che tal declinazione è massima fra mezzo giorno e tre ore dopo, e quindi l'ago resta stazionario; si avvicina poi al meridiano terrestre fin verso le otto della sera; quindi rimane stazionario per tutta la notte, e poi alle otto della mattina principia di nuovo ad allontanarsi dal meridiano, e così di seguito. Le maggiori variazioni diurne accadono fra Aprile e Luglio: a Parigi, per esempio sono da 13′ a 16′, e le minori, che accadono nel resto dell'anno, sono fra 8′ e 9′.

La variazione diurna non è egualmente estesa in tutti i paesi: a Londra nei mesi di Gingno e Luglio è fra 19′ e 20′, e nel Decembre non è più di 7′,08, la qual differenza è molto maggiore che a Parigi. Del resto anco Humboldt a Berlino e nell'America meridionale, Kupfer a Kasan e Arago a Parigi hanno osservato lo stesso fenomeno.

Dalle osservazioni di Macdonal e di Freycinet resulta, che la variazione diurna è sensibilmente minore fra i tropici che nei nostri climi. Duperey ha trovata falsa l'opinione, che la variazione diurna sia nulla in tutti i punti dell'equatore magnetico (*Connaissance des temps* 1828).

Dal paragone delle diverse situazioni analoghe dell'ago in diversi giorni, ma alle stesse ore, è resultato che dall'equinozio di primavera fino al solstizio d'estate, la punta nord torna verso l'est, e che nel resto dell'anno si muove verso l'ovest. Questa variazione fu scoperta dal Cassini nel 1784, e confermata nel 1800 da Gilpins. Dall'altra parte Arago, esaminando le osservazioni di Bowditch negli Stati Uniti e di Beaufoy a Londra, ha scoperto che nel primo di questi paesi il periodo nel 1811 era trasportato ad un'altra epoca dell'anno, e nel secondo non è

comparsa la variazione annua dal 1817 al 1820. Son dunque necessarie nuove osservazioni su questo proposito.

Dalle moltiplicate osservazioni resulta ancora, che l'ago calamitato è soggetto a variazioni improvvise e accidentali, le quali si manifestano specialmente all'apparire dell'aurora boreale, come meglio vedremo all'articolo *Aurora boreale*.

397. La *bussola* ordinaria consiste in un semplice ago calamitato, chiuso in una cassetta (*fig.* 253) e libero di muoversi nel piano orizzontale. Siccome è necessario che l'attrito sia il minimo possibile, quindi è che si fa sottilissimo l'ago, sicchè però non sia soggetto a piegarsi, e si fa il cappelletto d'agata o d'altro corpo durissimo, perchè il pernio non vi penetri. Inoltre Coulomb ha osservato, che gli aghi fatti in forma di freccie, hanno forza direttrice maggiore di qualunque altro di peso eguale.

La direzione della resultante orizzontale delle forze magnetiche, si trova nel meridiano magnetico, ma per determinarla con rigore si fa l'operazione di rovesciar l'ago. Si osserva primieramente in una situazione, quindi si rivolta e si fa una seconda osservazione; ed è chiaro che il meridiano magnetico sarà fra le due direzioni dell'ago, le quali però in generale son poco differenti.

Quando si voglion determinare piccoli moti dell'ago, come quelli di variazioni diurne e annue, bisogna osservarli con canocchiali fissi. L'ago AB (*fig.* 254) dell'Osservatorio di Parigi è sospeso per un filo di seta senza torsione, e per mezzo di canocchiali L ed L' se ne osserva il moto, indicato da un circolo CD: l'ago e il filo son chiusi in un cassetta, per difenderli dall'agitazione dell'aria.

Dell' inclinazione

398. Un ago d'acciaio, sospeso per il suo centro di gravità e non calamitato, resta in una situazione orizzontale; ma appena è calamitato, si inclina sensibilmente. Nel nostro emisfero l'estremità boreale si abbassa sotto l'orizzonte, e nell'emisfero australe accade l'opposto, e questa deviazione è stata chiamata *inclinazione*; sicchè l'inclinazione è l'angolo formato dall'ago col piano orizzontale.

L'inclinazione non è costante nel luogo stesso: a Parigi nel 1798 era di 69° 51'; nel 1810, di 68° 50'; nel 1818, di 68° 35', e a Londra nel 1775 era di 72° 30'; nel 1805, di 70° 21'.

Hansteen di Norvegia dice d'aver osservato, che l'inclinazione è maggiore 15' in estate che in inverno, e la mattina 5' o 6' più che dopo mezzo-giorno. In tal caso, se nelle esperienze di questo dotto osservatore non esista causa d'errore, l'ago d'in-

clinazione sarebbe soggetto, come l'ago orizzontale, a variazioni diurne ed annue. Dall'altra parte Gilpins ha osservato che a Londra l'inclinazione dell'ago non soffre variazione sensibile.

399. Si chiama *equatore magnetico* la curva formata dalla serie di punti, in cui l'ago d'inclinazione si mette in situazione orizzontale. L'equatore magnetico, astraendo dalle inflessioni, è un gran circolo inclinato sull'equatore terrestre 12° incirca: ciò almeno resulta dalle osservazioni fatte sopra un'estensione di più di 180° di longitudine nell'Oceano atlantico, nel mare dell'Indie, e nella parte del grande Oceano che bagna le coste dell'America meridionale.

Sembra che l'equatore magnetico tagli l'equatore terrestre almeno in quattro punti o nodi. La situazione di questi nodi, e la forma della linea senza inclinazione sono state determinate con molta precisione da Morlet e da Hansteen: questi si indusse inoltre ad ammettere l'esistenza d'un moto di traslazione nell'equatore magnetico, e che l'inclinazione dell'ago scema in un luogo al quale l'equatore tende ad avvicinarsi col suo moto, e cresce nel caso contrario; la qual'opinione è stata poi confermata dalle osservazioni di Freycinet e di Duperey (*Connais des temps.* 1826.).

400. La maggiore inclinazione nell'emisfero australe, è stata osservata dal capitano Cook a 60° 40' di latitudine, e a 93° 45' di longitudine occidentale contata dal meridiano di Parigi, ed era 43° 45'.

Quelli che più da vicino hanno viaggiato intorno al polo boreale, hanno osservato inclinazioni molto maggiori. Così il cap. Phipps ha trovato l'inclinazione di 82° 9' alla latitudine 79° 44'; il cap. Parry l'ha trovata quasi di 90°; e anzi avendo oltrepassato i 100° di longitudine occidentale, alla latitudine di 74° 45', ha veduto il polo nord della bussola rivolgersi e dirigersi verso il sud, il che prova che il viaggiatore aveva oltrepassato il polo boreale del Globo (*An. ch.* t. 15).

L'ago d'inclinazione che presentemente serve alle osservazioni nell'Osservatorio di Parigi, è rappresentato dalla *fig.* 255. Per mezzo di due lenti microscopiche mobili si può scorgere l'angolo d'inclinazione indicato sul circolo verticale CD. E perchè è raro che l'ago sia esattamente sospeso per il suo centro di gravità, le due estremità non corrispondono rigorosamente agli stessi punti, ma l'angolo medio dei due angoli può considerarsi come la vera inclinazione (1).

(1) Nel caso d'inesatta sospensione, una metà dell'ago avendo maggior tendenza dell'altra a cadere verso la Terra, si abbassa più che se fosse sollecitato dalla sola azione del magnetismo terrestre, il

Dell' intensità dell' azione magnetica del Globo

401. Molte domande posson farsi relativamente all' intensità magnetica del Globo, cioè se essa abbia il medesimo grado d'energia a grandi distanze, e su tutti i punti del Globo; se come la declinazione sia soggetta a variazioni diurne ed annue; con qual mezzo possiamo assicurarci se essa provi qualche variazione dopo lunghi intervalli di tempo; e qual genere d' osservazioni debba farsi prendendo un periodo di due secoli, per determinare se il nostro Globo ha o non ha conservata la stessa intensità magnetica.

Per determinare l' intensità magnetica, è quasi indifferente l'osservare l' ago di declinazione o d' inclinazione: solamente per passare dai resultamenti del primo a quelli che verrebbero dal secondo, bisognerà dividere il quadrato delle oscillazioni dell' ago orizzontale per il coseno dell' angolo d' inclinazione. Ciò apparisce dalla *fig.* 256, dove R è la resultante delle forze magnetiche, *i* l' angolo d' inclinazione, e quindi la componente orizzontale sarà (n.° 30) R cos *i*. Ma siccome il modo con cui è sospeso l'ago d' inclinazione, può a cagione dell' attrito produrre qualche inesattezza, in generale si suole osservare più spesso l'ago orizzontale (*a*).

che accresce o diminuisce la vera inclinazione, secondo la specie di magnetismo sviluppato in questa metà. Per correggere questo difetto, che però si suppone sempre piccolissimo, basta calamitare successivamente l' ago in due sensi opposti, ed osservare ogni volta l' inclinazione che esso indica. Da ciascuna di queste operazioni, se v' è qualche piccolo difetto di sospensione, avremo due resultamenti, uno maggiore e l' altro minore; e il medio di questi due sarà il vero valore, almeno molto approssimativamente, supponendo però sempre che i due bracci dell' ago sieno perfettamente simmetrici, e che il magnetismo sia egualmente distribuito in ambedue nelle due operazioni.

(*a*) In tutto ciò che precede abbiamo supposto l' ago situato nel meridiano magnetico; ma importa moltissimo il conoscere come si scompone la resultante, quando si mette l' ago fuori di questo piano.

Sia R la resultante delle forze magnetiche. Supponiamo questa forza applicata in un punto *m* d' un ago (*fig.* 257): si conduca una verticale *ms* e un' orizzontale *mn* parallela al meridiano magnetico; sia *i* l' angolo della verticale con la resultante; per le componenti orizzontale e verticale avremo R sen*i* ed Rcos*i*. La componente verticale Rcos *i* è nel piano attuale dell' ago: bisogna scomporre la componente orizzontale *mn*=Rsen *i* in due altre, una *mk* perpendicolare ad *mA*, e l' altra nella direzione *mA*. Si chiami *b* l' angolo che fa il piano dell' ago col meridiano magnetico. Ora la prima che è eguale a R sen*i* sen*b* è distrutta dalla resistenza dell' ago, poichè supponiamo questo fissato nel piano BCA; l'altra che è eguale a R sen*i* cos *b*, tenderà insieme con la componente verticale R cos *i* a dare una situazione fissa

1.° L' azione magnetica del Globo si estende a grandi distanze, senza perder nulla della sua energia, come resulta dalle osservazioni fatte successivamente da Saussure sul Monte-Bianco, da Humboldt sul Cimborazo, da Rossel alla Nuova Olanda, e da Gay-Lussac e Biot in un' ascensione aerostatica.

2.° Le ricerche di Humboldt hanno svelato un fatto molto singolare, il quale consiste nell' aumento dell' intensità dell' azione del Globo, andando dall'equatore magnetico ai poli. Infatti l' ago d' inclinazione, il quale a Parigi faceva 245 oscillazioni in 10 minuti, quando Humboldt partì per il suo viaggio pel nuovo Mondo, al Perù ne faceva soltanto 211. Nè dee temersi che tal differenza derivi dal cambiamento di temperatura sofferto dall'ago, poichè riportato a Parigi, ha oscillato con la stessa rapidità di prima Ora il rapporto dell' intensità magnetica del Globo al Perù e a Parigi, sarà il rapporto dei quadrati dei numeri d'oscillazioni nel tempo stesso, cioè $:: 211^2 : 245^2$, ossia $:: 10 : 13,5$.

L' importante scoperta dell' aumento dell' intensità magnetica, in proporzione dell' avvicinamento ai poli, è stata confermata ancora dalle osservazioni di Parry, Freycinet, ec.

3.° Soggetto di ricerca è stato pure il sapere, se l' intensità magnetica del Globo soffra variazione nello stesso luogo, nel decorso del giorno e dell' anno. Riporteremo qui i resultamenti di Hansteen che ultimamente si è occupato in queste ricerche. L' ago di cui si è servito è cilindrico, lungo poll. $2\frac{3}{4}$, e di

all'ago. La resultante totale R' darà $R'^2 = R^2 \cos^2 i + R^2 \operatorname{sen}^2 i \cos^2 b = R^2 \cos^2 i \,(1 + \operatorname{tang}^2 i \cos^2 b)$, e di qui avremo $R' = R \cos i \sqrt{(1 + \operatorname{tang}^2 i \cos^2 b)}$. La direzione della resultante R' sarà data dalla formula $\operatorname{tang} i' = \frac{R \operatorname{sen} i \cos b}{R \cos i}$, o $\operatorname{tang} i' = \operatorname{tang} i \cos b$. Così se sia $b = 0$, R' diverrà $R \cos i \sqrt{(1 + \operatorname{tang}^2 i)} = R \cos i \sqrt{\frac{(\operatorname{sen}^2 i + \cos^2 i)}{\cos i}} = R$. Sia $b = 100$, sarà $R' = R \cos i$; allora la resultante è eguale alla componente verticale $R \cos i$, e di più è nella stessa direzione di quella, poichè per $b = 100^g$, $\operatorname{tang} i' = 0$. Si può verificare questo resultamento con l'esperienza. Dopo aver determinato il meridiano magnetico, se perpendicolarmente a questo piano si ponga un ago d' inclinazione, questo prenderà una direzione verticale. Per mezzo della formola $\operatorname{tang} i' = \operatorname{tang} i \cos b$ può ottenersi un curioso resultamento. Infatti si avrebbe egualmente $\operatorname{tang} i'' = \operatorname{tang} i \cos(b \pm 100)$, e quindi $\operatorname{tang}^2 i' + \operatorname{tang}^2 i'' = \operatorname{tang}^2 i$. Con questa equazione può aversi l'inclinazione nel meridiano magnetico, senza conoscere il piano, sol che si prenda l'inclinazione in due piani perpendicolari. Questo processo può esser utile per verificare qualche osservazione nel meridiano magnetico. Paragonando però questa formola con qualche osservazione, bisognerebbe riflettere che i rappresenta qui il complemento di ciò che ordinariamente si prende per inclinazione.

$\frac{3}{4}$ pol. di diametro, e sospeso per un filo di seta non torta; e per evitare l'influenza dell'agitazione dell'aria, è chiuso in una cassetta, sul fondo della quale è segnato un circolo graduato, che serve a far conoscere l'ampiezza delle oscillazioni. In sostanza è questo un apparecchio analogo a quelli che si usano comunemente per misurare la durata delle oscillazioni, le quali Hansteen non comincia a contare se non quando la semi-ampiezza è ridotta a 20°. Si misura poi con un cronometro la durata media d'un numero costante d'oscillazioni; e poichè le intensità del Globo sono in ragione inversa dei quadrati di queste durate, così se ne trova il rapporto. Hansteen ha preso per unità la durata 813",6 di 300 oscillazioni. Chiamando I l'intensità cercata in un tempo T, sarà $I : 1 :: (813'', 6)^2 : T^2$, ed $I = \frac{(813'', 6)^2}{T^2}$, con la qual formola Hansteen ha calcolate tutte le sue esperienze.

Per dare un'idea dell'influenza della durata delle oscillazioni sull'intensità, riporteremo qui alcuni resultamenti particolari.

Durata di 300 oscillazioni	Intensità
813",6	1,0000
812 ,0	1,0030
810 ,0	1.0089
808 ,0	1,0139
806 ,0	1,0215
804 ,0	1,0240

Proseguendo Hansteen le sue osservazioni a diverse ore del giorno, e in diversi mesi dell'anno, ne ha dedotte le conclusioni seguenti:

L'intensità magnetica è soggetta ad una variazione diurna; ed è minima fra 10 e 11 ore della mattina, e massima fra le 4 e le 5 del giorno.

L'intensità media varia nel corso dell'anno. L'intensità media nei giorni vicini al solstizio d'inverno, è maggiore dell'intensità media nei giorni egualmente distanti dal solstizio d'estate. L'intensità media varia da un mese all'altro, e queste variazioni son massime verso i solstizii, e minime verso gli equinozii.

Ma poichè tutte queste osservazioni di Hansteen sono state fatte con un ago orizzontale, potrebbe essere che le indicate variazioni dipendessero da un cambiamento piuttosto nella di-

rezione che nell' intensità della resultante magnetica. Infatti, essendo R la resultante, la componente orizzontale sarà H= R cos i; sicchè H può cambiare anco se R resta costante, bastando per questo, che cambi anco di poco l'angolo i. Del resto Hansteen attribuisce al cambiamento d'inclinazione le variazioni d'intensità che ha osservate.

Anco altri fisici si sono indotti ad ammettere la variazione dell' intensità magnetica: ma poichè ben poco considerevoli son tali variazioni, e tutte forse potrebbero spiegarsi con un cambiamento d'inclinazione di 2 o 3 minuti; e poichè in generale l'ago d'inclinazione non è tanto sensibile da farci rilevare una differenza di 2 o 3 minuti, potrebbe essere che ciò che si prende per un cambiamento nell' intensità magnetica, non fosse che effetto d'un cambiamento d'inclinazione; e potrebbe essere ancora, che vi avesse parte nel tempo stesso la variazione nell' inclinazione e nell' intensità. Ma per ora non v'è un' opinione che possa autorevolmente adottarsi.

4° I mezzi usati per determinare le variazioni diurne ed annue dell' intensità magnetica, non bastano neppur essi per farci conoscere le variazioni secolari, perchè non siamo certi di conservare ad una calamita la stessa energia per un lungo spazio di tempo. Arago e Poisson hanno proposto ciascuno un mezzo per togliere una tal difficoltà.

Arago pensa, che nel modo seguente potremmo assicurarci se una calamita ha un determinato grado di forza. Il principio da cui egli parte è questo: che un ago calamitato, posto vicino ad una lastra metallica mossa in giro, è strascinato con forza tanto maggiore, quanto più intenso è il suo magnetismo. Per fare questa esperienza, bisogna situar la lastra in un piano perpendicolare all' ago d'inclinazione, e così non vi sarà alcun dubbio che v'influisca il magnetismo del Globo: il piccolo peso p di cui deve esser munito l'ago per conservarsi in una data situazione, per esempio a 20° della sua situazione naturale, sotto l'influenza d'una lastra di rame di grossezza nota e di noto diametro, e situata ad una distanza nota, servirà a far rilevare se l'ago si è o non si è conservato nel medesimo stato magnetico Se lo stato magnetico non è cambiato, l'ago potrà servire a misurare l'intensità del Globo; e se sarà cambiato, bisognerà porlo di nuovo nello stato primitivo. Un pezzo di ferro non sarebbe opportuno per fare scorgere lo stato magnetico d'un ago a lunghi intervalli di tempo perchè questo metallo non può sempre aversi identico, come identico si ha il rame.

Poisson propone di far oscillare due aghi separatamente sotto l'influenza del Globo, quindi ciascuno di essi sotto l'influenza

del Globo e dell' altro ago; e per mezzo dei resultamenti delle oscillazioni, trova col calcolo una quantità che è connessa con l' intensità assoluta del Globo. Questa quantità è indipendente dal potere d'ognuno dei due aghi, ed è soltanto necessario, che questo potere non soffra alcuna variazione, finchè dura l'esperienza (*An ch.* t. 30, p. 259).

Dell' azione reciproca delle calamite e dei diversi corpi

402. Fin dal principio di questo trattato del magnetismo abbiamo detto, che i soli metalli magnetici conosciuti fin qui, erano il ferro, il nickel e il cobalto: e in fatti sono i soli i quali sieno stati capaci di ricevere uno stato magnetico energico e durevole: tuttavia Coulomb ha trovato, che aghi fini e leggieri di qualunque sostanza, sospesi a fili di seta, fra i poli di due potenti calamite, si dirigono sempre nel senso di questi poli. Inoltre, contando il numero delle oscillazioni che fanno questi diversi aghi quando son tolti dalla loro situazione d' equilibrio, si vede che oscillano più rapidamente in presenza delle calamite, che quando sono isolati nello spazio

Saranno dunque tutte le sostanze dotate della proprietà di acquistare la virtù magnetica, oppure dovrà attribuirsene l'effetto alla presenza di qualche particella di ferro? Prima dei nuovi fatti scoperti da Arago, non appariva il modo di sciogliere tali questioni. Questi fatti sono di due specie: i primi hanno per oggetto l' influenza *dei corpi in riposo* sui moti dell' ago calamitato; i secondi, quella *dei corpi in moto* sopra l' ago in riposo. I primi sciolgono pienamente ogni dubbio; e se il processo di Coulomb era applicabile ai corpi solidi soltanto, quello d'Arago può applicarsi a tutti i corpi solidi, liquidi e anco gassosi: inoltre gli effetti ottenuti dal primo erano troppo deboli per poter servire d' appoggio ad un' opinione decisa, mentre quelli del secondo non lasciano alcun dubbio sull'azione di tutti i corpi, come apparirà dai seguenti resultamenti.

Un ago calamitato sospeso ad un filo verticale, se venga slontanato 53° dal meridiano magnetico, vi ritorna dopo un certo numero d'oscillazioni, che vanno sempre scemando in ampiezza. Se si noti il numero d'oscillazioni necessarie perchè la deviazione sia ridotta a 43°, si trova che questo numero è vario, secondo la natura della sostanza al di sopra della quale oscilla l'ago. Per es.:

Sull' acqua

A 0mm,65 di distanza, l' ago perde 10° in 30 oscillazioni;
A 52 ,20 60.

Sull' acqua gelata

A 0^{mm},55 di distanza, l'ago perde 10° in 26 oscillazioni;
A 52 ,20 60.

Sopra un piano di Crown

Un altro ago la deviazione primitiva del quale è 90°,
A 0^{mm},91 di distanza, perde 49° in 122 oscillazioni;
A 4 ,01 220.

Più distinti ancora resultano questi effetti nei metalli, e specialmente nel rame. Un disco di rame riduce a 4 il numero di oscillazioni sensibili d' un ago, che nell'aria e fuori dell' influenza del rame ne fa più di 400. Da queste esperienze resta dimostrato, che un ago calamitato prova per parte di tutti i corpi, e specialmente dei metalli, un' influenza, la quale diminuisce rapidamente l' *ampiezza delle oscillazioni* senza alterarne la durata.

Nelle esperienze precedenti un ago in moto è trattenuto da un corpo in riposo: in altre esperienze Arago, guidato da questo principio di Meccanica, che la reazione è eguale all' azione, è giunto a trarsi dietro un ago in riposo con una lastra in moto. L' apparecchio di cui si è servito in queste nuove esperienze, è composto di due parti isolate l'una dall'altra: la prima è un orologio, con tutte le ruote di rame, che imprime al disco un moto di rotazione, reso regolare da un volano, e di cui si misura la velocità per mezzo d' un ago, il quale indica il numero delle rivoluzioni eseguite in un dato tempo. La seconda parte consiste in un cilindro di vetro chiuso alla base inferiore con un foglio di carta, e alla superiore con una lastra di vetro, nel centro della quale è fissata un' asta parimente di rame che si abbassa e si alza a piacere, e alla quale è adattato il filo a cui è sospeso l' ago calamitato. Un' alidada indica la direzione dell' ago, che col suo centro coincide con quello della lastra che gira.

Un moto anco poco celere che si imprima a questa lastra, basta a far deviare l' ago notabilmente. Se un tal moto è lento e uniforme, l' ago si fissa in una situazione determinata: e se è tanto rapido da produrre una deviazione maggiore d' un angolo retto, l'ago è trasportato in modo che descrive un'intera circonferenza, e prosegue il suo moto con una velocità che va sempre crescendo, finchè la lastra cessi di girare. Citiamo un esempio, per far vedere l' intensità d' una tale influenza.

Una lastra di rame, grossa circa una linea, che si muove con una velocità di 4 o 5 giri per minuto secondo, imprime, da un

pollice e più di distanza, un moto di rotazione ad una sbarra calamitata, lunga un poco meno del diametro del disco che gira (*a*).

Se sul disco medesimo, a piccola distanza dal centro, si fanno alcune strette fessure, esso non produce che una deviazione piccolissima.

Arago volendo avere un dato sul potere magnetico del rame fuori dello stato di moto, ha sottoposto un ago all' azione d'una sbarra di tal metallo, ed ha osservato, che a $\frac{1}{10}$ di millimetro di distanza, l' ago stesso deviava 2' incirca.

Del resto, questi nuovi fatti dei quali Arago ha arricchita la scienza, sono tanto più importanti, quanto meno compariscono collegati con i fatti antichi (*An. ch.* t. 32 p. 213), (*Soc. phyl.* 1825). Il punto che più merita d' esser considerato è, che il *moto* accresce il potere magnetico dei corpi.

Le curiose esperienze di Arago sono state ripetute e confermate dai fisici di altre nazioni. Anzi Herschell e Babade hanno osservato, che riempiendo gl' intervalli voti delle fessure fatte nella lastra con un metallo dotato di molto minore influenza magnetica, la lastra riacquista quasi tutta la sua energia. Ma non è per anco abbastanza sviluppata la teoria dell'influenza delle lastre rotanti. Qualcuno ha supposto, che ogni polo dell'ago produca un polo di nome contrario, che si sviluppa sulla superficie della lastra, e che impiega più tempo a sparire, di quello che non impiegò a svilupparsi; ma le conseguenze di questa ipotesi sono opposte ai fatti. In prova di ciò, se per mezzo d' un filo si sospenda una calamita al flagello d' una bilancia, e si metta questa in equilibrio, la calamita verrà respinta da un piatto di rame che si faccia girare sotto di essa, e infatti la bilancia inclinerà dalla parte opposta. Su questo argomento poi, oltre le citate memorie di Arago, si consulti ancora la memoria di Poisson (*An. ch.* t. 32. p. 225).

(*a*) Arago osserva (*An. ch.* t. 33 p. 223) 1.° che il moto di rotazione del vetro e della carta non produce verun effetto sull' ago calamitato, quando esso è separato con una piccola ventola da queste sostanze; 2.° che tal nullità d' effetto potrebbe forse non dipendere che dalla superficie di queste sostanze medesime; 3.° che finalmente è necessario su tal proposito fare esperienze nel voto.

FENOMENI ELETTRO-DINAMICI

403. OErsted, membro dell' Accademia di Copenaghen, nel 1819 fece la singolare scoperta dell' azione della corrente voltaica sull' ago calamitato, dalla quale in Francia e in tutta l'Europa son derivate moltissime belle ricerche. Esporremo qui i principali fatti relativi alla medesima; e primieramente indichiamo in che precisamente essa consista.

Se si avvicini una porzione del filo conduttore ad un ago calamitato, questo si allontana dalla sua direzione primitiva; ed è certo che il fatto è prodotto dalla corrente, perchè se questa venga interrotta, l'ago torna nella sua prima situazione; e se l' energia della pila scemi, scema pure la deviazione. L' elettrometro ordinario indica l'esistenza e l'intensità della tensione. Mancava uno strumento per il quale si potesse conoscere la presenza della corrente elettrica in un conduttore o in una pila, e che ne indicasse la direzione e l' energia, e questo fu trovato nella bussola.

Quando furon conosciuti in Francia i fatti scoperti da OErsted, Ampère gli analizzò, e fece vedere che tutti potevano ridursi ai seguenti due fatti generali.

Primo fatto. *Azione direttrice*

404. Si ponga una pila orizzontalmente, quasi perfettamente nella direzione del meridiano magnetico, e nella stessa direzione si disponga una porzione del filo conduttore, tenendovelo fisso o fra due pinzette, o per mezzo di verghe di vetro *c*, *c'* (*fig.* 258). Se ora si metta un ago calamitato, libero di muoversi, sopra o sotto il medesimo filo, esso devierà, e si dirigerà da una parte che potrà prevedersi secondo la regola seguente. Se l' osservatore si ponga nella direzione della corrente, e in modo che la corrente sia diretta dai piedi alla testa, e tenga la faccia voltata verso l'ago, vedrà sempre che alla sua sinistra è trasportato dalla corrente elettrica il polo australe dell' ago medesimo.

Con questo apparecchio resta provato ancora, che nella pila esiste la corrente, e che procede dall' estremità negativa all'estremità positiva, cioè in senso inverso di quello del filo conduttore, il che appunto deve essere, perchè il filo forma con la pila un circuito chiuso

L' azione della corrente elettrica tende a metter l' ago in un senso perpendicolare alla sua propria direzione, l'azione del Globo impedisce quest' effetto, e quindi l'ago si ferma in una situazione obliqua al filo, la quale si misura per mezzo d' un circolo graduato, su cui l' ago stesso si muove; e questo circolo, e

quindi l'ago, possono situarsi a piacere, per mezzo di due ghiere *a*, *a'*. Del resto si può distruggere l'influenza del Globo, come ha fatto Ampère, fissando l'ago calamitato perpendicolarmente ad un asse CD, il quale si pone nella direzione dell'ago d'inclinazione; e in tal caso la corrente elettrica lo porta esattamente a fare angolo retto col filo conduttore.

Ampère imaginò la costruzione di questo strumento, considerando, che quando un ago calamitato non può muoversi che in un piano, girando intorno ad un asse perpendicolare al medesimo, è sempre dall'azione del Globo portato nella situazione, in cui forma il minor angolo possibile con la direzione dell'ago di inclinazione che esso prenderebbe se fosse libero, in modo che il suo polo australe sia vicinissimo al polo australe dell'ago d'inclinazione. Da ciò segue, che quando si vuole la direzione dell'ago in un piano qualunque, bisogna proiettar sul piano la direzione dell'ago d'inclinazione, e questa linea di proiezione sarà quella sulla quale si fermerà l'ago. Ora è chiaro, che se il piano è perpendicolare alla direzione dell'ago d'inclinazione, poichè l'ago calamitato forma sempre un angolo retto con esso, e non può nè avvicinarsi nè allontanarsi, qualunque situazione sarà indifferente per il medesimo.

Secondo fatto. *Azione repulsiva o attrattiva*

405. Se un ago calamitato faccia col suo asse un angolo retto con la direzione del filo conduttore, l'uno e l'altro si attraggono quando il polo australe è dalla parte sinistra della corrente che agisce sopra esso, cioè quando la loro situazione è tale quale il filo conduttore e l'ago tendono a prendere in virtù della loro azione scambievole. Perchè però accada una tale azione è necessario, come ha osservato Ampère, che la retta la quale misura la più corta distanza fra il filo e l'asse dell'ago calamitato, incontri questo asse fra i poli. Questa osservazione è tanto più importante, quanto che serve a spiegare il motivo per cui l'azione attrattiva divien nulla in faccia al polo, e si cambia in repulsione, quando la retta che misura la più corta distanza fra il filo conduttore e l'asse, incontra questo asse al di là del polo; e al contrario accade repulsione quando il polo australe è alla destra, cioè quando il filo conduttore e l'ago calamitato son conservati in una situazione, opposta a quella in cui si porrebbero naturalmente, supposto sempre però, che la linea la quale misura la più corta distanza cada fra i due poli, poichè quando cade al di là v'è attrazione. In tutti i casi, l'azione fra il filo condut-

tore e l'ago è sempre reciproca, come può provarsi avvicinando una calamita ad un conduttore mobile.

Ai due fatti precedenti aggiungiamone alcuni altri.

406. *Primo fatto.* Ampère subito dopo la scoperta di OErsted dimostrò, che due correnti elettriche si attraggono, quando son dirette parallelamente nel medesimo senso, e si respingono quando le lor direzioni parallele sono opposte. Provò di più, che accade lo stesso, comunque acuto, ottuso o retto sia l'angolo dei due fili che partono dai due poli, dimanierachè accade sempre attrazione, quando le correnti dei due fili vanno ambedue allontanandosi o avvicinandosi al vertice dell'angolo formato dai medesimi, e accade repulsione, quando uno vi si avvicina e l'altro se ne allontana (*fig.* 259, 260).

Se i due fili conduttori son paralleli fra loro, debbono considerarsi come se formassero un angolo infinitesimo, il vertice del quale sia ad una distanza infinita. Se le due correnti sono nello stesso senso, e quindi si allontanano ambedue o ambedue si avvicinano al vertice, deve accadere attrazione; e se vanno in senso contrario, accaderà repulsione. Tutto questo è confermato dall'esperienza.

Del resto, per rendere generale più che si può l'enunciata legge, bisogna osservare, che nel caso in cui i due fili conduttori non sono nello stesso piano, deve considerarsi come il vertice dell'angolo la linea che misura la più corta distanza fra i due fili.

407. *Secondo fatto.* Se si considerano due porzioni di una stessa corrente rettilinea come due correnti che formino un angolo di 180°, il vertice del quale è nel punto che le separa, si vedrà che la corrente d'una delle porzioni andando verso il vertice, e l'altra allontanandosene, deve accadere repulsione, come Ampère ha provato con la seguente esperienza. Sopra un piatto ABCD (*fig.* 261) diviso col tramezzo isolatore AC in due compartimenti eguali, pieni ciascuno di mercurio, si pone un filo di rame coperto di seta, del quale le braccia *qr*, *pn* possono galleggiare sul mercurio parallelamente al tramezzo AC: le estremità nude *rs*, *nm* pescano nel mercurio. Se si faccia pescare in un pozzetto E l'estremità del filo positivo, ed in un altro F quella del negativo, o reciprocamente si stabiliscano due correnti indipendenti una dall'altra, ciascuna delle quali ha per conduttore una parte di mercurio e una parte solida, qualunque sia la direzione della corrente, si veggon sempre i due fili *rq* e *pn* muoversi parallelamente al tramezzo AC dalla parte opposta a quella ove esso fa capo con un'estremità; il che indica una repulsione per ciascun filo fra la corrente stabilita nel mercurio, e il suo prolunga-

mento nel filo stesso Seguendo il senso della corrente, il moto del filo di rame è più o meno facile, perchè in un caso, l'azione esercitata dal Globo sulla porzione orizzontale *qp* si aggiunge all'effetto ottenuto; e nell'altro al contrario essa lo scema, e deve quindi sottrarsi da esso, mentre l'azione del Globo sopra uno dei fili *rq* è distrutta da quella dell'altro filo parallelo *pn*, la corrente del quale va in senso opposto.

408. *Terzo fatto*. Vediamo ciò che accade quando le due correnti sono ad angolo retto. Se una corrente rettilinea e indefinita nei due sensi agisce sopra una corrente mobile, la direzione della quale sia perpendicolare alla sua, e che abbia una delle sue estremità vicina alla corrente indefinita, l'azione che eserciterà questa corrente, porterà la corrente mobile parallelamente alla sua direzione; il moto sara nel senso della corrente indefinita, quando la corrente mobile va allontanandosi, e sarà nel senso opposto, quando vi si avvicina. La semplice osservazione delle *fig.* 262, 263 basta a render chiara una tal verità.

Infatti, se sulla corrente *mn*, ad egual distanza dal punto *o*, punto il più vicino alla corrente mobile, si prendano due distanze eguali *om* e *on*, e da un punto qualunque *c* della corrente mobile si conducano due oblique *cm* e *cn*, queste saranno eguali, e formeranno angoli eguali con le direzioni delle due correnti: dal che segue, che due piccole porzioni della corrente indefinita, situate nei punti *m* ed *n*, agiscono con egual' intensità sopra una piccola porzione situata in *c*. Ma delle due forze eguali *cp*, *cq*, esercitate da queste due piccole porzioni, una è attrattiva, e l'altra è repulsiva; in conseguenza, formando un parallelogrammo sulla loro direzione, esso sarà una losanga, e la sua diagonale CR, che è la resultante delle due azioni, è evidentemente parallela ad *mn*. E poichè le resultanti delle azioni esercitate sugli altri punti della corrente mobile AC, son parimente parallele ad *mn*, anco la resultante totale sarà parallela alla medesima. Ora, per ciò che abbiamo detto poco fa, relativamente all'azione scambievole di due correnti, chiaro apparisce, che nella *fig.* 262 l'azione fra *m* e *c* è repulsiva, e fra *n* e *c* è attrattiva: da ciò segue, che la corrente mobile AC è portata nel senso di CR, cioè nel senso della corrente indefinita *mn*. L'opposto si vede nella *fig.* 263.

409. *Quarto fatto*. Se la corrente mobile attraversasse la corrente indefinita, estendendosi egualmente dalle due parti, la direzione della corrente mobile anderebbe avvicinandosi in una metà BA, e allontanandosi nella metà AC (*fig.* 264); la prima anderebbe nel senso di BE, opposto a quello della corrente indefinita, e l'altra metà AC nel senso CF, che è quello della corrente indefinita: resulterebbe dunque una cop-

pia *mn* composta di due forze BE e CF, che non produrrebbe più verun moto di traslazione, ma farebbe girare la corrente mobile BC intorno al punto A, finchè fosse parallela ad MN. e diretta nel medesimo senso. Si noti che in questa esperienza, come in tutte le altre in cui il conduttore mobile non viene ad urtare contro il conduttore fisso, oltrepassa la situazione d'equilibrio, in virtù della velocità acquistata, e vi torna poi dopo una serie d'oscillazioni.

410. Queste attrazioni e queste repulsioni elettriche differiscono essenzialmente da quelle che l'elettricismo produce in stato di riposo. Nelle attrazioni e repulsioni elettriche ordinarie, l'attrazione accade fra elettricismi di nome contrario, e la repulsione fra quelli della stessa specie. Per le correnti elettriche accade l'opposto, cioè accade attrazione fra quelle che vanno nel medesimo senso, e repulsione fra quelle che vanno in senso opposto. Inoltre, se due fili conduttori sono attratti, essi restano uniti finchè dura la corrente elettrica, mentre nell'elettricismo ordinario la repulsione succede prontamente all'attrazione. Si può aggiungere ancora, che gli effetti delle correnti elettriche accadono nel voto egualmente che nell'aria, mentre l'elettricismo ordinario nel voto si dissipa.

411. *Quinto fatto. Rotazione continua.* Faraday avendo scoperto, che per mezzo d'una calamita si poteva imprimere a un filo conduttore un moto di rotazione, che prosegue sempre nel medesimo senso, Ampère produsse un moto simile per mezzo dell'azione scambievole di due fili conduttori, e dimostrò che questo moto era una conseguenza necessaria di ciò che abbiamo veduto di sopra. Prima di descrivere l'esperienza, spieghiamone la teoria.

Supponiamo primieramente una corrente MN (*fig.* 265) e una corrente BA in un filo conduttore mobile intorno ad una delle sue estremità A, in modo che intorno ad A essa descriva una circonferenza. Quando la corrente anderà dalla circonferenza al centro, cioè nel senso di BA, e si troverà nella situazione indicata nella figura con BA, anderà allontanandosi da MN, e in conseguenza si troverà portata nel senso della corrente MN, che la ridurrà nella porzione AB; allora sarà parallela ad MN e diretta in senso contrario; dunque sarà respinta, e si dirigerà per B″A. E siccome allora anderà avvicinandosi alla corrente MN, sarà portata in senso contrario a questa, e arriverà in B‴A. Trovandosi ora parallela ad MN e diretta nel medesimo senso, verrà attratta dall'ultima corrente e sarà portata in BA, e di qui proseguirà indefinitamente lo stesso moto di rotazione.

Finchè la corrente MN è molto vicina ad A, l'azione esercitata da questa corrente mobile sul filo, va scemando dalla si-

tuazione BA fino a B''A, perchè la distanza fra i due fili va crescendo: ma se la corrente MN fosse molto lontana da A, la differenza di distanza diverrebbe insensibile; e in tal caso col calcolo si trova, che l'azione per far girare AB intorno ad A è la stessa nelle diverse situazioni che successivamente prende il conduttore mobile, potendo qui trascurarsi la differenza di distanza. Ma anco per una piccola distanza potrà rendersi uniforme l'azione fra il conduttore fisso ed il mobile, piegando il conduttore MN in modo che formi un circolo intorno ad A; giacchè è chiaro, che allora la sua azione per far girare AB intorno ad A divien costante, e la loro forza sarà nello stesso senso.

412. Il senso in cui il conduttore mobile di cui abbiamo parlato gira intorno al punto A, cambia quando si rovescia la direzione di una delle correnti. Ma quando si sopprime il conduttore fisso, il conduttore mobile prende in certi casi un moto di rotazione continua, che non cambia mai direzione, qualunque sia la direzione che si dia alla corrente del conduttore mobile. Questa esperienza è di Savary, e si eseguisce col seguente apparecchio. Un circolo metallico (*fig.* 266) interrotto in A per mezzo d'un pezzetto d'avorio C, pesca in un'acqua acidula, che comunica con un polo della pila: l'altro polo di questa comunica con una piccola tazza O piena di mercurio: in questa arriva una punta *p* sulla quale riposa il circolo, e che comunica con questo circolo per mezzo del raggio OC: un altro raggio OE sostiene parimente il circolo, ma è di materia isolatrice.

L'apparecchio gira costantemente nel senso AEC, qualunque sia la direzione della corrente che lo attraversa. Supponiamo primieramente che la corrente arrivi dal centro; in tal caso anderà per il raggio OC al punto C, seguirà il cerchio di rame ACE, attraverserà l'acqua acidula per le linee *mn*, *m'n'*, *m''n''* perpendicolari al circolo, e farà capo nel vaso metallico. Poichè la repulsione accade nel senso *mh*, *m'h'*, ec., e poichè il circolo è mobile, esso girerà nel senso CAE. Se al contrario il polo positivo comunica con l'acqua, allora la corrente elettrica arriverà perpendicolarmente al circolo nelle direzioni *nm*, *n' m'*, *n'' m''*, ec. e si dirigerà nel senso *c*, per ridursi nella tazza O: e poichè la repulsione accade sempre nel senso *mh*, *m'h'*, il circolo girerà nel medesimo senso. Non può ottenersi un moto di rotazione in senso opposto, se non sostituendo a questo circolo un altro circolo rappresentato dalla *fig.* 267, il quale non differisce dal precedente, se non che l'interruzione CA è a destra in vece d'essere a sinistra.

413. Un contorno qualunque ABCD (*fig.* 268) posto sopra una corrente indefinita *mn*, e mobile intorno alla verticale *qr* o davanti o dietro al conduttore orizzontale, tende a situarsi pa-

rallelamente al piano verticale che passa per il conduttore fisso *mn*. Poichè la parte ascendente BC è portata dal lato ove va la corrente *mn* parallelamente a questa corrente, mentre la parte AD tende ad andare dal lato opposto, queste due azioni concorrono a mettere il contorno suddetto nell' indicata situazione. Se si formi un' elice, e si consideri ciascuna spira come un contorno circolare, l' elice dovrà situarsi in modo, che il suo asse sia perpendicolare a questa corrente fissa. Ciò può verificarsi con l'esperienza.

Se a questa elice se ne avvicini un' altra, percorsa egualmente dalla corrente elettrica, ed in ognuna di esse si distingua il polo che si trova a sinistra d'un uomo che guarda dalla parte della corrente ascendente, cioè dai piedi alla testa, si osserva, che se si presenta l' estremità sinistra d' un'elice all' estremità dritta dell'altra, le due estremità si attraggono, e le estremità d' una stessa parte si respingono. Col calcolo si prova, che una tale attrazione è indipendente dalla direzione delle due elici, purchè le altre estremità sieno a sì gran distanza, che la loro azione possa trascurarsi (1).

414. *Sesto fatto. Magnetizzazione prodotta dalle correnti elettriche.* Poco dopo conosciuta a Parigi l'esperienza di OErstedt, Arago presentò all'Accademia molti importanti resultamenti. Osservò primieramente, che il filo conduttore d'una pila del Volta si caricava di limatura di ferro al pari della calamita, la qual limatura se ne staccava tutta a un tratto quando veniva interrotta la comunicazione della pila. Questo effetto non doveva attribuirsi ad un' azione elettrica ordinaria, perchè l'esperienza non riesciva con limatura di qualunque altra sostanza non magnetica. Riconobbe inoltre, che il filo non comunicava al ferro se non un magnetismo passeggiero, mentre all'acciaio comunicava un magnetismo durevole; che la magnetizzazione era determinata in una direzione perpendicolare alla direzione della corrente, e che due

(1) In un modo semplicissimo si può render visibile la rotazione prodotta dall' elettricismo voltaico, anco indipendentemente dalla presenza del fluido magnetico. Si versi una goccia di mercurio in un piatto, e si copra d' acido solforico: se quindi si tocchi questa goccia con l' estremità d' un filo di ferro, apparisce subito un moto di rotazione nella medesima, che si rende ancor più visibile, spargendo sull' acido che la copre una leggiera polvere galleggiante. Più distinto ancora comparisce tal moto, se si tocchi la goccia medesima in due punti; e allora si vede in essa un moto intestino alternativo di contrazione, che il dotto Nobili non sapea meglio paragonare che alla sistole e alla diastole del cuore. Qui si vedono due metalli a contatto con l'interposizione d'un liquido, e precisamente della specie di quelli che sono i migliori conduttori dell' elettricismo voltaico, cioè si vede la più efficace pila che si possa costruire, se potessimo sperarne la durata in proporzione dell' energia dell' effetto.

fili d'acciaio paralleli, posti ad angolo retto col filo conduttore, e situati a distanze eguali da una parte e dall'altra di questo filo, acquistavano uno stesso grado di magnetismo.

Ponendo egli un ago d'acciaio nell'elice formata col filo conduttore, imaginata da Ampère, lo trovò calamitato; e ripetendo l'esperienza, cambiata la direzione della corrente, trovava nell'ago i poli in ordine inverso. Introducendo un filo d'acciaio in più elici, formate con uno stesso filo conduttore, e voltate alternativamente in senso contrario, trovava in esso varii punti conseguenti; mentre fili d'acciaio posti fuori delle elici, appena si magnetizzavano. Trovò ancora che l'elettricismo ordinario passando a scintille a traverso delle medesime elici, magnetizza egualmente il filo d'acciaio, la qual proprietà fu riconosciuta dal Ridolfi anco in una corrente continua.

415. *Settimo fatto. Dell'azione della Terra sui conduttori voltaici.* Ecco le diverse circostanze che presenta questa attrazione.

1.° Una corrente verticale, mobile intorno ad un asse verticale, dall'azione del Globo è portata all'Est di questo asse, quando scende nel conduttore mobile, e all'Ovest del medesimo quando vi sale: il piano che nella situazione d'equilibrio passa per questa corrente e per l'asse, è nei due casi perpendicolare al meridiano magnetico. Da questa esperienza, come pure dal n.° 164 resulta, che se l'azione della Terra dipende da correnti elettriche, queste producono gli stessi effetti d'una corrente media diretta nel Globo dall'Est all'Ovest

2.° Un conduttore orizzontale che non può muoversi se non parallelamente a se stesso, è sempre spinto nell'emisfero boreale dall'azione del Globo alla sinistra d'un osservatore, il quale sia situato nella corrente in modo che questa medesima vada dai suoi piedi alla sua testa, e che abbia la faccia voltata verso l'ago, qualunque sia l'azimut della corrente. Se per esempio la corrente è diretta dall'Est all'Ovest, si osserva che essa va verso il Sud: e poichè in questo caso è necessariamente attratta dalla corrente media che equivale a tutte le correnti terrestri, e poichè anco questa corrente va dall'Est all'Ovest, ne segue che quest'ultima è situata al Sud del luogo dove si fa l'esperienza.

Parimente, se il conduttore mobile è situato in modo, che la corrente sia diretta dal Sud al Nord, esso anderà allontanandosi dalla corrente terrestre, situata al Sud dell'Europa, e quindi sarà portato parallelamente a questa corrente dalla parte ove essa si muove, cioè dall'Est all'Ovest, o alla sinistra dell'osservatore.

Quando il conduttore è situato in modo che la corrente la quale lo attraversa va dall'Ovest all'Est, dalla corrente terrestre è respinto al Nord, alla sinistra dell'osservatore. Finalmente se

la corrente del conduttore va dal Nord al Sud, esso si avvicinerà alla corrente terrestre, e quindi tenderà a retrocedere sulla direzione di questa corrente portata all'Est, cioè anco in questo caso alla sinistra dell'osservatore.

3.° Un conduttore orizzontale mobile intorno ad un asse verticale che passa per una delle sue estremità, per effetto dell'azione della Terra gira con un moto continuo in questa direzione, Est, Sud, Ovest, Nord, quando va dalla circonferenza al centro, e in senso contrario quando va dal centro alla circonferenza. Da questa esperienza, come da ciò che dicemmo altrove (n.° 358) resulta ancora, che la corrente media è al Sud del luogo dell'esperienza.

Un conduttore mobile intorno ad un asse verticale, e che forma un circuito piano e quasi chiuso, per effetto dell'azione del Globo si dispone in modo, che la parte ove la corrente scende, si porta all'Est, e la parte ove essa ascende si porta all'Ovest. Se si forma un'elice con un filo conduttore, e l'asse orizzontale di essa possa girare intorno ad una linea verticale che passi per il suo mezzo, ogni anello dell'elice si dirige come il circuito di cui abbiamo parlato di sopra; e l'asse di quest'elice, che è sensibilmente perpendicolare al piano dei suoi anelli, si troverà diretto dal Nord al Sud nel piano del meridiano magnetico, dimanierachè la parte dell'elice, ove le correnti scendono, sarà voltata verso l'Est, e quella ove esse salgono, sarà voltata verso l'Ovest. Aggiungendo all'apparecchio un'altra elice simile, si osserverà, che le estremità dello stesso nome di queste due elici, cioè quelle che si dirigono verso il medesimo polo della Terra, si respingono scambievolmente, mentre le estremità di diverso nome si attraggono. Chiaramente si vede, che questo resultamento è una conseguenza necessaria dell'azione scambievole di due correnti elettriche, quale l'abbiamo stabilita di sopra. Questa azione è perfettamente simile a quella di due calamite; e si osserva inoltre, che se in vece di una delle elici si pone una calamita, l'azione che si eserciterà fra questa e l'altra elice sarà pure la stessa. Del resto, tutte queste esperienze relative all'azione del Globo sui conduttori elettrici, sono state imaginate da Ampère.

Descrizione d'un apparecchio, per mezzo del quale possono verificarsi tutte le citate esperienze elettro-dinamiche

416. Per riunire i vantaggi degli apparecchi particolari, bisognava prima rendere permanenti le parti dello strumento destinato ad eseguire operazioni comuni a tutte le esperienze, e

quindi applicare successivamente l' azione di queste parti comuni a conduttori mobili, ciascun dei quali si unisce poi separatamente all' apparecchio generale. Con questa veduta Ampère ha imaginato il seguente apparecchio (*fig.* 269).

Nelle esperienze d' elettricismo dinamico, una porzione del circuito voltaico resa mobile, è sottoposta all' azione d' un conduttore fisso, d' una calamita o della Terra. Perchè il circuito non sia interrotto, questa parte mobile deve esser riunita alla massa dei conduttori, per mezzo di tazze piene di mercurio; come pure di mercurio si fa uso per mettere in comunicazione fra loro quelle parti dell' apparecchio, che non possono legarsi o saldarsi fra loro. Per la stessa ragione è utile ancora, ogni volta che si adopra l' apparecchio, ripulire tutte le parti destinate ad esser messe a contatto; altrimenti potrebbe accadere un' interruzione nella corrente, il che porterebbe sospensione d' azione. Finalmente quanto è necessario assicurare la libera comunicazione delle parti. che formano l'apparecchio, altrettanto è indispensabile prevenire quelle comunicazioni le quali aprirebbero alla corrente del fluido una strada diversa da quella che deve seguire. Per questa ragione sarà bene coprire con una vernice isolante la tavola *gh* (*fig.* 269) sulla quale è posto l' apparecchio; e bisogna anco osservare che non vi cada nè acqua acidula nè mercurio, al qual effetto si fa un' apertura nel mezzo di essa, chiusa con una piccola cateratta da aprirsi a piacere.

Le sospensioni poi si fanno per mezzo di piccole tazze piene di mercurio, disposte secondo il bisogno delle esperienze. I due fili della pila son fissati alla tavola per mezzo di una vite di pressione nel corso delle esperienze, per poter immergere a piacere ognuno di essi tanto nel canaletto A, quanto in *a'*. Finalmente è indispensabile che il dimostratore possa, con un moto pronto e facile, sospendere l' azione elettro-dinamica o cambiarle direzione, rovesciando il corso della corrente, o nei conduttori fissi o nei mobili; la qual condizione facilmente si ottiene con la disposizione seguente.

Supponiamo l' operatore situato in faccia alla tavola della pila: in tal caso avrà alla sua diritta i due fili R, *r*, che per convenzione sono stati chiamati *reofori*, e davanti a se, dalla stessa parte, due piccole leve K, *k*, destinate a cambiar la direzione della corrente dei conduttori fissi e dei mobili. Queste leve, alzate un pollice in circa sopra la tavola, son formate di due lastre di rame, isolate per mezzo d' un manico di legno verniciato o d'avorio. Sugli orli laterali di queste lastre si notano otto appendici, quattro delle quali, situate a dritta, pescano nei due serbatoi A, B, e nelle due cavità C, D (*fig.* 270), quando si

inclina dalla stessa parte la leva più vicina all' operatore: le altre quattro, quando questa leva è inclinata a sinistra, pescano nei medesimi canaletti A, B, e nelle cavità C', D'; ma tenendole in situazione orizzontale, è interrotta ogni comunicazione metallica fra A e B, e le cavità C, D o C', D'. Queste comunicano a due a due, cioè C con C', e D con D' per mezzo di lastre di rame poste in croce sulla tavola, rivestite di seta, e separate una dall' altra con un pezzo di legno verniciato. Le cavità G e H corrispondono ad altre lastre di rame, che fanno capo una nella cavità C', e l' altra nella cavità D'; quindi esse sono in comunicazione per mezzo della croce suddetta, la prima con C, e la seconda con D. Un'altra leva *k*, posta un poco più lungi dall'operatore e sempre a dritta, serve, secondo il senso nel quale s' inclina, a stabilire o a interrompere le comunicazioni fra i canaletti B ed *a*, e le cavità *c*, *d*, o *c'*, *d'*. Queste riunite a coppie per mezzo d' una croce simile alla prima, son disposte in modo che *c* e *c'*, per mezzo della molla I I' posta sulla tavola, comunicano con la tazza S, che si alza e si abbassa per mezzo d'una vite *z*, posta sotto la tavola, e comunicano ancora con la colonna ET. Parimente *ded'* comunicano esse pure con due canaletti semicircolari MN, *mn*, pieni di mercurio, in cui pescano le due estremità del filo *tuv* d' una bussola, la quale è destinata a mostrare se la corrente ha luogo nell' apparecchio, e che disposta a questo uso è stata chiamata *galvanometro*; e quindi comunicano con la colonna FU e con la cavità O.

Le colonne ET, FU sono di rame, e servono indistintamente, secondo la situazione della leva *k*, una a trasportare la corrente nei conduttori mobili, e l' altra a ricondurla. A tal effetto la colonna ET comunica con la tazza X, ed FU con la tazza Y isolata dalla prima per mezzo d' un tubo di vetro coperto di gomma-lacca, X comunica con x, e x' e Y con y e y'. Ciascun sistema di due tazze x e y, o x' e y' serve a far sì che i conduttori mobili stieno sospesi per una verticale che passa per il centro delle tazze; e x con y', o x' con y fa sì che stieno sospesi per un' orizzontale, capace d' esser messa in tutti gli azimut per mezzo del bottone Z. Ciò premesso, vediamo come si fanno le esperienze.

1.° *Per le attrazioni e repulsioni delle correnti angolari*

417. Si pone il conduttore rettangolare MNOP (*fig.* 271) in modo, che i quattro punti L, L, L, L del piatto che lo sostiene entrino nei punti corrispondenti indicati sulla tavola dalla stessa lettera L, e le due estremità G e H peschino nella cavità dello stesso nome: quindi si sospende nelle tazze

x e y il conduttore mobile (*fig.* 272) destinato alle azioni angolari. Allora, se R è il filo positivo, e le due leve sieno inclinate a dritta, la corrente passa da A a C, quindi a C′ e a G, percorre il rettangolo MNOP nel senso MN, torna nella cavità H, e trasmessa in D′DBc′, sale nella colonna ET, arriva nelle tazze X ed x, percorre il conduttore mobile nella direzione *xabcdefghiy*, riscende per la colonna UF, passa a traverso del galvanometro *tuv*, e torna nella cavità *d′*, e quindi nel canaletto *a* che riceve il filo negativo. Ora, poichè la porzione della corrente elettrica che percorre *de* è diretta nello stesso senso di quella che percorre il lato MN del conduttore fisso, accaderà attrazione; e per cambiare quest' attrazione in repulsione, basta inclinare a sinistra l' una o l'altra delle leve K, *k*: la prima rovescia la corrente del rettangolo fisso, e la seconda quella del conduttore mobile; sicchè sussisterebbe pur l' attrazione, se si inclinassero nel tempo stesso dalla medesima parte.

Quest' osservazione è importante, perchè per essa evitiamo il caso di confondere l' azione della Terra con quelle che esercitano le diverse parti dell'apparecchio. I moti prodotti da queste, non cambiano, quando si rovescia nel tempo stesso la corrente nei conduttori fissi e nei mobili, facendo pescare nel canaletto *a* il filo posto prima nel canaletto A, e reciprocamente, mentre nelle stesse circostanze l' azione delle correnti del Globo, la direzione delle quali è costante, si manifesta facendo cambiar direzione al moto dei conduttori mobili.

Per fare più chiaramente vedere questa distinzione, si pono il treppiede (*fig* 273), come diremo tra poco, ma alzando le estremità G, H del conduttore spirale, in modo che esse non peschino nelle cavità G e H della tavola (*fig.* 269). Stabilita la comunicazione fra i canaletti A e B per mezzo del conduttore Q, le appendici *e*, *f* del quale pescano allora in questi canaletti, si sospendono alternativamente i due conduttori mobili (*fig.* 274, 275) nella tazza S, in modo che le corone di questi conduttori sieno immerse nell' acqua acidula del vaso (*fig.* 287); e si prova con l'esperienza, che il senso della rotazione del conduttore mobile (*fig.* 274), prodotta dall' azione della Terra, cambia al cambiar della direzione della corrente, tanto per l' inversione dei fili della pila, quanto per quella della leva *k* (*fig.* 270), mentre la rotazione del conduttore mobile (*fig.* 275) accade sempre nello stesso senso, qualunque sia quello della corrente, perchè resulta dall' azione scambievole delle correnti della corona *aedf*, e di quelle dell' acqua acidula. Si rovescia allora il conduttore Q (*fig.* 269) per interrompere la comunicazione che esso stabiliva fra i canaletti A e B, e si immergono nelle cavità G, H le

estremità del conduttore spirale (*fig.* 273): subito l'azione di questo ultimo conduttore sul raggio *ac* (*fig.* 274, 275) dei conduttori mobili, imprime in questi conduttori un moto di rotazione molto più rapido, e che cambia direzione se si inverta una delle due leve K o *k* (*fig.* 269), ma che però non cambia quando si rovescia l'ordine di comunicazione dei fili della pila, perchè allora la direzione della corrente si trova cambiata nel tempo stesso nelle due parti del circuito voltaico, che agiscono una sull'altra, cioè, il raggio *ac* (*fig.* 274 e 275) e il conduttore spirale (*fig.* 273) di cui ci siamo serviti.

2.° *Conduttori astatici*

418. Il conduttore mobile (*fig.* 271), e molti altri conduttori dei quali parleremo, sono *astatici*, cioè son disposti in modo, che le azioni del globo terrestre sulle loro diverse parti si distruggono scambievolmente. Per questa ragione nelle esperienze si fa in modo, che la corrente segua alternativamente direzioni opposte. Così nel conduttore mobile (*fig.* 272) il fluido elettrico muovendosi nella direzione *xabcdefghiy*, la corrente è discendente nella parte *cd*, e ascendente nella parte *gh*; dunque esse tendono con forze eguali una a dirigersi verso l'Est e l'altra verso l'Ovest. Parimente l'azione delle correnti orizzontali *de* e *hi* è equilibrata dall'azione delle correnti opposte *bc*, *fg*. In quanto poi alle parti *ab* ed *ef*, poichè esse si trovano nell'asse di rotazione, è inutile considerarle. Quando questo conduttore mobile è sospeso alle tazze x', y', la punta corrisponde al mezzo della parte MN del rettangolo (*fig.* 271); e allora abbiamo l'azione in due angoli contigui, in uno dei quali è attrattiva, e nell'altro repulsiva, e resulta lo stesso effetto che nella disposizione precedente, ma con un'intensità sensibilmente raddoppiata. Il braccio *p* serve soltanto come di contrappeso.

Il conduttore mobile (*fig.* 277) può esser situato alternativamente nelle tazze *x* e *y*, o in x', y': nel primo caso, la corrente venendo sempre dalle tazze X e *x*, segue la direzione *xabcdefghiy*: allora nei fili *cd* e *gh*, questa corrente è pur diretta verso il vertice dell'angolo che questi due fili formano col conduttote fisso; e però situando il conduttore mobile perpendicolarmente al rettangolo fisso, le due porzioni *cd* e *hg* saranno o attratte ambedue o ambedue respinte, secondo il senso della corrente del conduttore fisso. Nel caso d'attrazione. v'è equilibrio non stabile, poichè se uno di questi fili è accidentalmente avvicinato un poco più dell'altro al conduttore fisso, sarà attratto da esso più potentemente. Se si

cambia la direzione della corrente nell'uno o nell'altro conduttore, l'attrazione sarà cambiata in repulsione, e il conduttore mobile diverrà perpendicolare al conduttore fisso. In questo caso l'equilibrio è stabile.

Quando si sospende lo stesso conduttore nelle tazze x', y', la corrente segue una direzione opposta alla precedente, e percorre il conduttore mobile nella direzione *yihgfedcbax*, e quindi nei fili *cd*, *gh* si allontana dalla parte media *dh*, dimanierachè la repulsione da una parte e l'attrazione dall'altra si fanno scambievolmente equilibrio, e l'apparecchio resta immobile (*fig.* 278).

Il conduttore (*fig.* 279), sospeso nelle tazze x', y', lascia libero il passo al fluido nel senso *xabcdefghiy*: se dunque esso taglia primieramente, ad angolo qualunque, il conduttore fisso MN (*fig.* 271), tenderà a muoversi finchè il braccio *de* sia parallelo ad MN, e la corrente sia diretta nel medesimo senso in ambedue i conduttori. Quindi si vedrà il conduttore mobile fare una mezza rivoluzione, se si cambi la direzione di una delle correnti.

L'apparecchio rappresentato dalla *figura* 280 è destinato a far vedere, che nel conduttore della *figura* 279, i bracci *cd*, *ef* contribuiscono all'effetto prodotto, poichè non vi sono che i fili segnati con le stesse lettere nella *fig.* 280, che potendo ricevere qualche moto dalla parte del conduttore fisso, contribuiscano a muovere il conduttore mobile; mentre le azioni di questo conduttore sopra ciascuno degli elementi dei circoli orizzontali del conduttore mobile, passando per l'asse di rotazione, non possono contribuir nulla al moto di questo: tuttavia si vede pure prodursi un certo moto, per quanto con una forza molto minore. Lo stesso conduttore mobile (*fig* 280) serve ancora, egualmente che quello della *fig.* 281, per le esperienze relative all'azione scambievole di due correnti, dirette in modo che formano costantemente un angolo retto.

3.° *Azione di due correnti parallele*

429. Il conduttore (*fig.* 282) serve a rendere evidente l'azione che esercitano una sull'altra due correnti parallele orizzontali. Si mette questo conduttore nelle tazze x, y'; la corrente segue dunque la direzione *xaby'*: ora *ab* è parallela ad MN, e diretta nel medesimo senso: dunque accaderà attrazione. Cambiando l'una o l'altra corrente, accaderà repulsione.

Per la stessa esperienza sopra correnti parallele verticali, si fa uso dell'apparecchio indicato dalla *fig.* 283, che si sostituisce al rettangolo della *fig.* 271: le estremità dei fili G e

H pescano nelle due tazze G, H. Allora se la corrente viene da H, sale in *mn*, scende in *op*, arriva nella tazza G, e quindi va nel conduttore mobile (*fig.* 277.) sospeso nelle tazze x, y. La corrente è discendente nei bracci *bc*, *fg*, come nel filo *op*; dunque accaderà attrazione. In questa disposizione, come nelle precedenti, si cambia la direzione della corrente con la piccola leva K, o quella della corrente mobile con la leva *k*, e in ambedue i casi l'attrazione è cambiata in repulsione.

L'eguaglianza delle azioni attrattive e repulsive, sviluppate dalle correnti orizzontali o verticali, che si muovono nel medesimo senso o in direzioni contrarie, è resa evidente per mezzo del conduttore mobile (*fig.* 284) composto di due fili fasciati di seta, e che servono uno a condurre e l'altro a ricondurre l'elettrico; sicchè se la corrente è discendente nell'uno, è ascendente nell'altro, dunque dovrà restare in riposo, tanto se si opponga il suo braccio verticale *cd* al filo *op* del conduttore (*fig.* 283), quanto la sua parte orizzontale *de* al rettangolo (*fig.* 271.).

4.° *Conduttori sinuosi*

420. Per dimostrare l'eguaglianza d'azione d'un conduttore rettilineo e d'un conduttore sinuoso, si volta lo stesso apparecchio (*fig.* 283) ~~in modo~~, che le estremità G′, H′ dei fili conduttori peschino nelle tazze dello stesso nome. Disposte in tal maniera le cose, se la corrente entra per H′: sale per *ru*, scende per il conduttore sinuoso *tv*, risale per *po*, riscende per *nm*, passa dalla cavità G (*fig.* 269) al conduttore mobile, è discendente nel braccio *bc* (*fig.* 277), come pure nelle aste *nm* e *tv* (*fig.* 283.) e quindi resulta l'attrazione di queste verso *bc*. Un tal filo resterebbe dunque in riposo, se fosse egualmente allontanato dal conduttore sinuoso *tv* e dal filo *nm*, ma poichè è quasi impossibile stabilire tali distanze perfettamente eguali, si vede il filo mobile *bc* portarsi verso il conduttore fisso al quale è più vicino. In questa esperienza è dunque meglio ricorrere alla repulsione, il che si fa inclinando a sinistra la leva K; allora la corrente diviene ascendente nel conduttore fisso, mentre prosegue ad esser discendente nel filo mobile, il quale, per questa ragione appunto, si dispone ad egual distanza da *vt* e da *mn*.

In altra maniera ancora può farsi la medesima esperienza, operando col conduttore mobile (*fig.* 285), precisamente come si operò con quello della *fig.* 284, e provando che i conduttori fissi non esercitano alcun'azione sopra di esso, quantunque dei due fili di cui è composto, uno solo sia rettilineo e l'altro sinuoso.

Il conduttore mobile (*fig.* 286) formato di due circoli percorsi in senso contrario, essendo posto nelle due tazze x, y, e sottoposto all'influenza esercitata dalla corrente che attraversa il filo *op* (*fig.* 283), sarà attratto o respinto, secondo che la corrente stabilita nella porzione del circolo che è vicina ad *op*, accaderà nel medesimo senso o in senso contrario: così l'elettrico arrivando nella tazza H, scende per *op*, arriva quindi in x (*fig.* 286) e percorre i due circoli nella direzione *xabcdefghy*. Sol che dunque si collochino in un modo adattato, è facile ottenere attrazione o ripulsione quando si voglia.

5.° *Rotazione continua determinata da un conduttore fisso, dall'azione della Terra, o da quella delle correnti che si stabiliscono nell' acqua acidula, nella quale pescano i conduttori mobili.*

421. Per tutte le esperienze di rotazione continua, si pongono i tre punti O, *l*, *l* del treppiede (*fig.* 273) nella cavità, e nei punti indicati con le stesse lettere sulla tavola; allora su questo treppiede si posa il vaso di rame (*fig.* 287), del quale il piede JI pesca nella cavità I (*fig.* 273), che per mezzo della lastra di rame IO comunica con la cavità O (*fig.* 269). Si empie quindi questo vaso d'acqua acidula, nella quale pesca la parte inferiore di tutti i conduttori mobili destinati a questo genere d'esperienze. Allora la corrente non passa più nelle due colonne ET, FU, che non le presentano veruna escita, perchè sono stati opportunamente tolti i conduttori mobili: così, dopo aver percorso il conduttore fisso, arriva nel canaletto B, passa nella cavità *c'*, supposta la leva *k* inclinata a dritta, va nella tazza S, percorre il conduttore mobile che ivi è sospeso, passa a traverso dell'acqua acidula del vaso, e quindi a traverso del vaso stesso, e per la colonna *Ood'* si porta al filo negativo.

In questo apparecchio, il moto è prodotto dall'azione di una spirale posta sull'orlo del treppiede, in modo da circondare il vaso: lungo gli altri due piedi del treppiede si fanno scendere le due estremità della lastra di rame che forma la spirale, e si fanno pescare una in G e l'altra in H. Quando il moto deve esser prodotto da una corrente rettilinea tangente al vaso, si adopra il rettangolo (*fig.* 271); allora al treppiede armato di spirale può sostituirsi un altro sostegno simile, ma senza spirale, oppure servirsi anco del primo, osservando di alzare le estremità G e H (*fig.* 273) della spirale, sicchè esse non peschino più nelle cavità corrispondenti G, H (*fig.* 269): in tal caso bisogna farvi pescare le appendici G, H del ret-

tangolo (*fig.* 271), rivoltando questo rettangolo, e ponendo le punte L, L, L, L nei punti L′, L′, L′, L′, (*fig.* 269).

I conduttori mobili (*fig.* 281, 274, 275) che debbono alternativamente esser posti nella tazza S, son diversi dal primo, in quanto che quello ha due bracci verticali, uno *cd*, interrotto da una piccola lastra di legno *gd*, e l'altro *ab* che mette la corona *aedf* in comunicazione con la punta *s*; mentre il secondo conduttore non ha bracci ascendenti, e la corona *aedf* comunica con la sospensione per mezzo del solo filo orizzontale *as*, essendovi una piccola asta *gd* di legno verniciato, che intercetta la comunicazione con l'altro lato. Il terzo conduttore (*fig.* 275), disposto come il precedente, è diverso da quello, in quanto che la corona è interrotta in *a* da un pezzo d'avorio *t*, che rompe la continuità delle comunicazioni metalliche: anzi per compire la dimostrazione, è necessario un quarto conduttore, nel quale il pezzo d'avorio, in vece d'esser posto fra *a* ed *f*, sia situato dall'altra parte, cioè fra *a* ed *e*.

Queste disposizioni particolari di ciascuno dei conduttori mobili che abbiamo descritti, determinano la direzione del moto di rotazione che nasce in ogni caso, tanto per l'azione d'un conduttore rettilineo o circolare, quanto per quella della Terra, o delle correnti che passano a traverso dell'acqua acidula del vaso (*fig.* 287).

Facendo agire sui due apparecchi (*fig.* 281, 274) la corrente spirale della *figura* 273, ambedue girano con un moto di rotazione continuo, la velocità del quale, accelerata in principio, divien poi costante: ma sottoponendo i due conduttori all'azione della corrente del rettangolo (*fig.* 271), l'apparecchio (*fig.* 274) girerà esso pure con un moto di rotazione continuo, la velocità del quale non divien mai uniforme, ma prova alternative variazioni, secondo che il raggio *as* ad ogni rivoluzione si trova ora più vicino ora più lontano dal rettangolo. In quanto all'apparecchio della *fig.* 281, esso tenderà a girare per effetto soltanto dell'azione della Terra, e quella del rettangolo (*fig.* 271) tenderà a portarlo in una situazione fissa, in cui il piano *abcd* sarà sempre parallelo al piano di questo rettangolo, in modo che il braccio *ab* sia dalla parte dalla quale viene la corrente stabilita in MN, quando quella di *ab* è discendente, e dalla parte opposta quando quest'ultima è ascendente. Nell'apparecchio della *fig.* 275, l'effetto prodotto dipende dall'azione che sulla corrente della corona *fea* esercitano le correnti che si stabiliscono nell'acqua acidula contenuta nel vaso (*fig* 287). Finalmente sottoponendo alla sola azione della Terra l'apparecchio della *fig.* 274 si vede girare con una velocità costante; mentre non accade lo stesso dell'apparecchio rappresentato dalla *fig.* 281, perchè oltre l'azione

I moti del circolo (*fig.* 288), in certe disposizioni, sono impediti dal modo di sospensione; ma può rimediarsi a questo inconveniente, sostituendo a questo circolo un conduttore mobile (*fig.* 289). Per l'anello *ab* passa il sostegno della tazza S, nella quale pesca la punta su cui deve girare questo conduttore. La piccola tazza *d*, opposta alla punta S, contiene mercurio, nel quale pesca un filo di rame *dc*, attaccato per mezzo della pinzetta *b* al sostegno Y*iy'* della tazza *y'* (*fig.* 269), che comunica con la colonna FV, e nella quale si fa pescare l'estremità *c* del filo *cd*, per compire il circuito. Questo nuovo modo di sospensione, permette al circolo di girare in tutti i sensi; ed inclinando opportunamente la leva *k*, potrà ancora imprimersi in esso un moto di rotazione continua.

Il conduttore (*fig.* 290) si sospende come il circolo della *figura* 289. L'azione della Terra sui due bracci *ab* e *cd* venendo a distruggersi, si osserva unicamente l'effetto prodotto sul braccio *bc*, che si porta all'Ovest o all'Est, secondo che la corrente vi è ascendente o discendente.

Si osserva ancora l'azione della Terra sul braccio orizzontale *ab* del conduttore (*fig.* 282), perchè nei due bracci verticali le correnti sono opposte fra loro; ma bisogna assolutamente osservare, che l'azione non si manifesta se non nel momento in cui si compie il circuito, e bisogna attendere ancora di mettere questo conduttore in un piano sensibilmente verticale al mezzo del contrappeso *i*. In quest'esperienza il braccio *ab* è sempre portato a sinistra della corrente con la stessa forza, in qualunque azimut si sia posto l'apparecchio, il qual resultamento è conforme a ciò che si trova col calcolo.

8.° *Elici e Calamite*

424. Le *figure* 291, 276 rappresentano elici con le quali si possono imitare le calamite: la prima si fissa alla tavola (*fig.* 269) per mezzo della pinzetta *b*, in modo che le sue due appendici G, H (*fig.* 291) peschino nelle cavità dello stesso nome della *figura* 269; e la seconda (*fig* 276) è sospesa nelle tazze x, y o x', y': dunque la corrente si stabilisce in quella della *figura* 291, come si stabilirebbe in un altro conduttore fisso, e in quelle della *figura* 276 come si stabilirebbe in un altro conduttore mobile. Ora, presentando un'estremità della prima ad un'estremità della seconda, accade attrazione, quando le estremità di faccia sono una a dritta, e l'altra a sinistra delle correnti che percorrono i fili dei quali son formate queste elici: al contrario accade repulsione, quando le due estremità delle stesse elici che si fanno agire una sull'altra, son situate dalla

stessa parte delle lor correnti respettive. Tutto questo combina con i resultamenti dei calcoli fondati sulla formola di Ampére.

Osservando l'azione della Terra sull'elice (*fig.* 276), si vede che l'estremità a sinistra delle sue correnti si dirige costantemente al Nord, perchè appunto in questa situazione dell'elice, le correnti ascendenti di questo cilindro sono dalla parte dell'Ovest, e le discendenti sono dalla parte dell'Est.

Se invece d'un'elice si mette una calamita, si vedrà che questa procede come un'elice.

Finalmente può verificarsi ancora, che un'elice, relativamente ad un filo conduttore, procede nel modo stesso con cui procede una calamita secondo la scoperta di OErsted. In prova di ciò, si ponga il conduttore rettangolare raddoppiato (*fig.* 271) come nella prima esperienza, destinata a provare la sua azione sopra un conduttore rettilineo, e si sospenda immediatamente sopra il mezzo della porzione MN di questo conduttore, l'elice della *figura* 276, mettendo le punte x, y nelle tazze y', x' (*fig.* 269): in tal caso l'elice, qualunque sia la sua direzione, appena venga messa in comunicazione con la pila, prenderà una direzione perpendicolare a quella della corrente MN (*fig.* 271), sicchè l'estremità dell'elice che è a sinistra delle sue correnti, si porta dallo stesso lato di MN, ove si porterebbe il polo australe d'una calamita nell'esperienza di OErsted.

In tutte le esperienze fin qui descritte è molto importante l'interrompere la corrente elettrica nei conduttori mobili, ogni qual volta si vogliono immergere le punte di questi conduttori nelle tazze, o ritirarle da esse, a fine di evitare la combustione o la fusione delle punte. È necessario ancora, prima di cominciare le esperienze, assicurarsi che la corrente passi effettivamente per il conduttore fisso e per il mobile, il che facilmente può riconoscersi per mezzo del galvanometro. Ecco esposti i fatti principali dei fenomeni elettro-dinamici, e i mezzi di provarli con l'esperienza.

Del Moltiplicatore

425. Schweiger e Halle hanno imaginato un apparecchio, opportuno per rendere evidente l'esistenza delle più deboli correnti elettriche per mezzo dell'ago calamitato. La teoria del moltiplicatore è fondata sull'eguaglianza d'azione di tutte le parti di un filo conduttore. Se per esempio un ago calamitato è posto fra due porzioni *ab*, *bc* d'un filo simile (*fig.* 292), e i fili e l'ago sieno in uno stesso piano verticale, chiaramente apparisce che l'ago deve ricevere un impulso doppio di quello che in esso imprimerebbe un sol filo. Infatti i due impulsi dati all'ago dalle due por-

zioni orizzontali del filo, si uniscono fra loro, perchè esse sono percorse dalla corrente elettrica in due sensi diversi. Potrà dunque accrescersi ancora l'effetto, facendo fare al filo conduttore molte circonvoluzioni (*fig.* 293); ed in ciò appunto consiste il moltiplicatore di Schweiger.

La *fig.* 294 rappresenta questo apparecchio, quale è stato descritto da OErsted. AA è il piede dello strumento; CC, C'C' sono due regoli che reggono un telaio BB, nell'orlo del quale è una scanalatura, in cui si dispongono i giri successivi del filo moltiplicatore: DD è un altro regolo, su cui deve adattarsi il filo destinato a tener sospesa la calamita. Tutte queste parti sono di legno. EE è un filo metallico, che passa a incastro per un orifizio fatto nella parte superiore del regolo DD: a questo filo metallico si attacca con cera il filo di seta EF, all'estremità del quale è attaccato un piccolo triangolo doppio di carta su cui è posto l'ago calamitato. Il filo di sospensione passa a traverso d'un cilindro, col che si impedisce al filo moltiplicatore di toccarlo.

Inoltre, sotto l'ago calamitato è un cerchio R diviso, sul quale si misurano le deviazioni. Il filo moltiplicatore è di rame argentato ed è grosso $\frac{1}{4}$ di millimetro. Esso è fasciato di filo di seta in tutta la sua lunghezza, col che si impedisce qualunque comunicazione elettrica fra le diverse parti di questo filo, che si soprappongono nella scanalatura del telaio BB: H ed I rappresentano le due estremità del filo.

Facilissimo a comprendersi è l'uso di questo apparecchio. Per moltiplicar l'azione che ha sull'ago una corrente galvanica, basta che le comunicazioni sieno stabilite in modo, che il filo moltiplicatore divenga una parte del circuito. Con questo apparecchio, si rende molto sensibile l'elettricismo sviluppato dal contatto di due dischi, uno di zinco e l'altro di rame, anco facendo uso soltanto di acqua pura per conduttore umido. Nella stessa maniera possono rendersi sensibili azioni galvaniche, che sarebbero troppo deboli per essere indicate da una rana preparata.

Quando si vuol adoprare il moltiplicatore per azioni elettro-motrici alquanto considerevoli, bisogna adoprar fili conduttori piuttosto grossi, affinchè la loro temperatura non si elevi tanto da alterare o anco bruciare la seta. Così con questo strumento sensibilissimo possono rilevarsi anco minime quantità di elettricismo, che sfuggirebbero a qualunque altro benchè delicato apparecchio.

Dei Pesci elettrici

425. Molti pesci hanno la facoltà di produrre effetti analoghi

a quelli delle scariche elettriche; e varie specie di tali pesci presentemente si conoscono. Poichè i gimnoti ed altri pesci elettrici son provvisti d'un organo formato di celluline disposte egualmente che le lastre metalliche in una pila, un tal organo è stato considerato come la sorgente del potere elettrico di questi animali.

Incontrastabili sono gli effetti dei pesci elettrici; e noi citeremo soltanto quelli di cui e stato testimone Humboldt, il quale nel suo soggiorno nell'Indie, mentre arricchiva tutti i rami della Storia naturale, faceva pure varie esperienze sopra i gimnoti. Avendo egli fatto entrare alcuni cavalli selvaggi in un canale che conteneva molti di questi pesci, ha veduto questi galleggiare sull'acqua, e stringersi al ventre dei cavalli in modo da farli soccombere, per la violenza dei colpi invisibili con i quali gli urtavano.

« Non è possibile, dice Humboldt medesimo, esporsi alle prime scosse d'un gimnoto molto grande e molto irritato. Se si riceve una scossa prima che il pesce sia ferito o stanco, si sente un dolore ed un intorpidimento tale, che non si può assolutamente esprimere la sensazione che si prova. Io non mi ricordo di aver mai sofferto, per la scarica d'una gran boccia di Leida, una scossa più formidabile di quella che ho provato ponendo imprudentemente i due piedi sopra un gimnoto appena estratto dall'acqua; dimanierachè per tutta la giornata provai un vivo dolore nelle ginocchia e in tutte le articolazioni ». E Humboldt stesso paragonava le leggiere scosse prodotte da un gimnoto, ad una specie di convulsione, prodotta dall'applicazione di una doppia lastra di zinco e di rame sopra piaghe fatte sul dorso per mezzo delle cantaridi. E per quanto egli ed ogni altro osservatore abbia rilevata la differenza delle sensazioni fra gli effetti dei pesci elettrici e quelli della pila o d'una boccia di Leida leggermente caricata, tuttavia con un carattere d'identità compariscono le azioni dell'elettricismo e dei pesci. Se non che l'elettricismo può esser lo stesso, ma gli effetti saranno diversamente modificati dalla disposizione degli apparecchi elettrici, dall'intensità del fluido, dalla rapidità della corrente, o da un modo d'azione particolare.

Del resto, in virtù appunto di tal somiglianza, il gimnoto è stato messo in uso per la guarigione dei paralitici.

I gimnoti non sono nè conduttori, nè batterie, nè apparecchi elettromotori, dai quali si riceva la scossa ogni volta che si toccano in modo opportuno, ma unicamente per volontà esercitano una tale azione. Spesso taluno, o isolato o non isolato, tenta di toccare il pesce senza provare la minima scossa; ma dipende dall'animale il non agire se non verso la parte in cui si sente

più vivamente irritato. Rane preparate, e dal Galvani poste immediatamente sul corpo d'una torpedine, provano forti contrazioni ad ogni scarica.

L'azione del pesce sugli organi dell'uomo è trasmessa e intercettata dagli stessi corpi che trasmettono e intercettano la corrente elettrica d'una boccia di Leida o d'una pila del Volta.

Ma da questi animali non si è mai vista sviluppare la minima scintilla, nè di giorno nè di notte, per quante prove abbiano fatte Humboldt e Bonpland.

Inoltre la scarica del gimnoto non produce verun effetto sopra uno elettroscopio anco delicatissimo, nè ha verun' azione sulla calamita o sulla limatura di ferro, al contrario di quanto aveva asserito il D. Schilling.

Del resto, sembra che il D. Bancroff sia stato il primo a rilevare una certa analogia fra i fenomeni dei pesci elettrici e quelli prodotti dall'elettrico. E per verificare questa congettura, Walsh fece varie esperienze, nelle quali giunse a far provare la scossa ad un certo numero di persone, ma non ottenne nè scintille nè attrazioni elettriche, come non le aveva ottenute neppure Humboldt, che sperimentò gimnoti grandi fino 3 piedi e 11 pollici.

Aggiungeremo che Gay-Lussac ha osservato un fatto, il quale è molto singolare, se pur non dipende dalla debolezza dell'animale, cioè, quando un individuo isolato tocca una torpedine, bisogna che il contatto sia immediato, perchè esso provi una scossa: quindi si può toccare l'animale impunemente, toccandolo per esempio con una chiave.

In fine, rimettiamo su questo proposito il lettore al Tomo 2.° della relazione istorica del viaggio di Humboldt, dove egli vedrà ancora, che questo celebre Fisico e Naturalista formava pile con organi animali e lastre metalliche, anco prima che fosse noto l'elettromotore del Volta.

DELL' OTTICA

427. L'Ottica è uno dei più importanti rami della Fisica; e con lo studio di essa sono stati costruiti strumenti utili all'Astronomia, alla Navigazione e alla Storia naturale, senza i quali queste scienze, sì ricche di fatti, sarebbero tuttora nell'infanzia. Conoscendo le proprietà della luce, si spiegano moltissimi fenomeni naturali che spesso abbiamo sott'occhio, quali sono l'arco-baleno, il crepuscolo, l'aberrazione delle stelle, ec. Prima d'entrare nella teoria e nella costruzione degli strumenti di ottica, e prima di cercare la spiegazione dei fenomeni nei quali la luce ha la parte principale, indicheremo le sue più essenziali proprietà.

PROPRIETA' DELLA LUCE

1. *Trasmissione*

428. La luce vien trasmessa in linea retta. Per dimostrarlo con l'esperienza, si faccia una piccola apertura in un'imposta di finestra in una stanza oscura; e si vedrà che la luce, penetrando nella stanza, illuminerà tutti i corpi che sono nello spazio che essa percorre, e produrrà una traccia brillante rettilinea. Ed è noto ad ognuno, che quando sulla linea retta che unisce un oggetto con l'occhio si pone un corpo opaco, l'occhio non vede più l'oggetto.

2. *Velocità*

429. La velocità della luce è prodigiosa. Galileo fu il primo che cercò di misurarla; ma le sue ricerche furono senza effetto, dacchè troppo breve era l'intervallo che secondo le sue osservazioni percorreva la luce. Con molta precisione può misurarsi per mezzo delle osservazioni astronomiche; e la prima applicazione ne fu fatta da Roemer e dal Cassini, nel moto del primo satellite di Giove. Questo pianeta è accompagnato da quattro satelliti, e proietta nello spazio un'ombra conica, la base della quale riposa sulla sua parte illuminata: il primo satellite si ecclissa quando entra nel cono dell'ombra (1), e

(1) Anco gli altri satelliti egualmente, come è naturale, si ecclissano quando entrano nel cono dell'ombra; se non che le osservazioni sono state fatte sul primo, che in minor tempo percorrendo la sua orbita, presenta nel tempo stesso un numero di ecclissi maggior di quello che non presentano gli altri satelliti.

se un osservatore è situato sulla Terra fra Giove e il Sole, vede che passano $42^{ore}\frac{1}{2}$ fra due ecclissi successive: ma poichè il moto della Terra intorno al Sole è molto più rapido di quello di Giove, in breve tempo il Sole, la Terra e Giove non più si trovano in linea retta.

In una situazione anco lontanissima dalla prima, l'osservatore dovrebbe vedere escire il satellite dal cono dell'ombra dopo un certo numero di volte $42^{ore}\frac{1}{2}$ precisamente, se la velocità della luce fosse infinita; ma ciò non accade, e anzi il satellite ritarda tanto più, quanto più cresce la distanza dal pianeta alla quale si trova l'osservatore. Se la Terra è all'estremità del diametro della sua orbita, il ritardo è di 16′ 26″. E siccome questo diametro è fra 68 e 69 milioni di leghe, così la luce ha una velocità di 70000 leghe per secondo, e quindi viene dal Sole a noi in 8′ 13″.

Questa velocità è costante, cioè qualunque sia la distanza dalla Terra a Giove, si trova sempre che lo spazio percorso dalla luce è 70000 leghe per minuto secondo. Da questa cognizione della velocità della luce si rileva intanto, che noi non vediamo gli astri, se non un certo tempo dopo la loro apparizione sull'orizzonte (1).

3. *Ombra*

430. Un corpo opaco quando è alla presenza d'un corpo luminoso, non può mai essere totalmente illuminato; e si dà il nome di *ombra pura* alla porzione dello spazio priva di luce. L'ombra apparisce diversa secondo le dimensioni, la forma e la situazione del corpo luminoso e del corpo opaco.

Fra la parte oscura e la parte perfettamente illuminata non v'è una divisione decisa; ma esiste una parte dello spazio il quale non riceve che una porzione della luce; e questo spazio si chiama *penombra.*

(1) Anzi gli astri compariscono all' osservatore qualche tempo prima del loro apuotare aull'orizzonte, come meglio vedremo parlando della refrazione della loce: sicchè se l'A. parla del tempo impiegato dalla luce per venir dall'astro fino all'orizzonte, è certo che un tal tempo deve esser seosibile; così dalle stelle fisse la loce impiega circa tre aoni per giungere fino a noi: se poi parla del tempo impiegato dalla luce degli astri per giongere dall'orizzonte fino all'osservatore, questo è assolotameote impercettibile, e gli astri appariscono contemporaneamente aull'orizzoote e al nostro occhio, attesa la piccolezza della distaoza.

4. *Decrescimento dell' intensità*

431. L'intensità della luce scema in ragione inversa del quadrato della distanza. Per comprendere questa legge, si ponga un punto luminoso nel centro di due sfere concentriche, i raggi delle quali sieno uno doppio dell' altro. Si riceva primieramente la luce sulla superficie della sfera minore, e quindi si supponga di riceverla sulla maggiore: è certo che nel secondo caso la stessa quantità di luce è sparsa sopra una superficie quattro volte maggiore; dunque l'intensità è quattro volte minore.

5. *Influenza dell' inclinazione della superficie*

432. L'intensità della luce dipende ancora dall'inclinazione della superficie, relativamente alla direzione dei raggi; quindi le superficie BE e CB (*fig.* 295) saranno viste dal punto H con la stessa intensità di luce: tuttavia la superficie BC è più estesa di BE; e poichè la linea BC sta alla linea BE :: 1 : sen BCE, l'intensità della luce tramandata da BC nella direzione CL o DH deve essere in un rapporto inverso; poichè le due superficie BE e BC, viste in questa direzione, sono egualmente luminose.

Resta dunque dimostrato, che l'intensità della luce emessa da una superficie in una data direzione, è proporzionale al seno dell'angolo formato dalla direzione dei raggi con la superficie.

6. *Passaggio a traverso di mezzi diafani*

433. Oltre queste due cause d'indebolimento nell'intensità della luce (4 e 5), ve n'è una terza, cioè il passaggio a traverso di corpi *diafani* (1). Quindi è, che la luce degli oggetti veduti a gran distanza nell'aria, è poco viva (*a*). L'effetto dell'assorbimento è molto maggiore in mezzi solidi o liquidi: così il più puro cristallo sembra opaco, quando è grosso alcuni pollici, e il fondo di mari profondi è assolutamente privo di luce (*b*).

(1) Corpi *diafani* o trasparenti si chiaman quelli che posson esser penetrati dalla luce da una superficie all'altra: così l'acqua, il cristallo ec. son corpi diafani.

(*a*) Secondo Bouguer, un intervallo di 3 leghe e $\frac{1}{4}$ diminuisce di $\frac{1}{3}$ l'intensità d'una luce.

(*b*) L'intensità d'una luce scema in progressione geometrica, passando a traverso d'un mezzo denso uniformemente, e la grossezza del quale cresca in proporzione aritmetica (*Vedi* Bouguer e Lacaille).

7. *Paragone delle intensità di due luci*

434. Le intensità di due luci si paragonano in più modi, dei quali i più comuni son due. Il primo consiste nel produrre due intensità eguali per l'occhio, e misurar le distanze alle quali son situate le luci. A tal effetto si prende un cartone, e vi si fanno due aperture, a ciascuna delle quali si adatta un pezzo di sottilissima carta unta; con un altro cartone poi si separano e le due aperture e le due luci: si pone quindi l'occhio al cartone, allontanando e ravvicinando le due luci in modo da illuminare egualmente le due aperture. Sieno D, D' le distanze delle luci; I, I' le loro intensità: avremo $\frac{I}{D'^2}=\frac{I'}{D^2}$, e quindi $\frac{I}{I'}=\frac{D'^2}{D^2}$, cioè il rapporto delle intensità è in ragione inversa dei quadrati delle distanze: e siccome il rapporto delle distanze è noto, così divien noto anco il primo che si cercava.

Rumford ha proposto un altro mezzo, il quale consiste nel porre a convenienti distanze da ciascuna luce un corpo opaco, che proietti due ombre sopra un piano trasparente. Allora si pone l'occhio davanti a questa, e si dispongono le due luci in modo che queste due ombre sieno eguali; quindi si calcolano i rapporti delle intensità come nel caso precedente. È opinione generale che l'eguaglianza di due ombre si scorge meglio che quella di due luci. Del resto nell' articolo della dispersione vedremo un altro processo.

8. *Sorgenti della luce*

435. Il Sole e le Stelle son luminose per se stesse; ma gli altri corpi divengon tali soltanto per la luce che ricevon dal Sole, o perchè son ridotti ad un'alta temperatura: anzi tutti in generale possono divenir luminosi, e quindi visibili nell' oscurità, quando son riscaldati fino a 500° incirca.

La luce, o si rifletta sulla superficie dei corpi, o penetri nel loro interno, o solamente passi vicino ad essi, soffre certe modificazioni che esamineremo negli articoli *reflessione, refrazione, dispersione, diffrazione.*

436. Due ipotesi sono state imaginate per spiegare i fenomeni luminosi. Alcuni, con Newton, suppongono che i corpi luminosi emettano in tutti i sensi particelle estremamente sottili, dotate di tutte le generali proprietà che abbiamo indicate. Altri, con Cartesio, ammettono, che l' impressione d'un corpo luminoso si trasmette all'occhio per una serie di ondulazioni, impresse

dai corpi luminosi nell'*etere*, fluido sparso in tutto l'universo. Al fine di questo trattato torneremo a parlare di questa questione; e intanto adottando l'ipotesi dell'emissione, faremo la storia dei principali fenomeni che dobbiamo considerare in questa parte di Fisica

Reflessione della luce (*a*)

437. Si dice che un raggio di luce si reflette, quando dopo aver incontrata una superficie, si ripiega verso il mezzo per il quale era passato. Si chiama angolo d'incidenza l'angolo formato dalla prima direzione del raggio luminoso con la superficie, e angolo di reflessione quello che il raggio reflesso forma con la stessa superficie; ed è provato con l'esperienza, che questi due angoli sono eguali, e situati in un medesimo piano perpendicolare alla superficie di reflessione. Ecco la più semplice fra tutte le maniere di provare la verità di tal proposizione.

Sia ABCO(*fig.* 296) un semicircolo graduato, ed SO un raggio di luce, che cada sul piano AOB d'uno specchio, e il semicircolo sia perpendicolare a questo piano, e il raggio parallelo al semicircolo: sia OH il raggio reflesso. Se nel punto O, e nel piano del raggio incidente poniamo un tubo di piccol diametro, e se copriamo di nerofumo la superficie interna di questo tubo per assorbire tutta la luce che caderebbe sulle pareti interne, e che si slontanerebbe dall' asse del tubo, ci accorgeremo che non è possibile vedere il punto luminoso S, se non nel caso in cui il tubo OH posto nel piano SOC, faccia un angolo BOH eguale all' angolo SOA.

L'eguaglianza degli angoli SOC, HOC è una conseguenza dell' eguaglianza degli angoli SOA, HOB dei quali sono complementi, e che spesso si prendono invece dei primi. Per mezzo di questa conosciuta eguaglianza degli angoli d' incidenza e di reflessione, potremo spiegare i diversi fenomeni prodotti dalla luce sopra lo specchio piano e sopra gli specchi curvi.

Una certa quantità di luce è assorbita dallo specchio (*b*); ma qualunque sia la perdita, il fascio reflesso segue sempre la legge dell' eguaglianza degli angoli d' incidenza e di reflessione.

(*a*) *Vedi* alla fine di questo trattato la spiegazione della reflessione secondo la teoria dell' emissione, e secondo quella dell' onde.

(*b*) Quantunque alcuni abbiano mosso qualche dubbio sull' esattezza delle tavole di Bouguer, tuttavia esse bastano per dare un' idea del fenomeno. La tavola seguente indica la quantità di luce reflessa sotto angoli diversi. Si suppongono 1000 raggi incidenti.

Specchio piano

438. Un punto luminoso R (*fig.* 298) posto davanti ad uno specchio AB, tramanderà raggi in tutte le direzioni; e alcuni fra questi, dopo la loro reflessione in *ab*, entreranno nell'occhio d'un osservatore posto in *pl*, e questi raggi così riuniti possono considerarsi come un cono troncato, del quale il circolo *pl* forma la gran base, e la piccola base posa sullo specchio. Lo specchio piano ha cambiato la direzione del fascio, senza alterare la disposizione relativa dei diversi raggi che lo compongono. Il cono *lp*R' sarà eguale al cono spezzato *lp*R: e poichè l'osservatore ha l'abitudine di trovare gli oggetti nella direzione dei raggi luminosi che riceve nell'occhio, crederà veder l'oggetto in R'. I due triangoli RD*a*, R'D*a* son eguali, perchè hanno un angolo eguale compreso fra lati eguali: dunque DR'=DR; dunque l'oggetto è visto dietro allo specchio ad una distanza DR' eguale alla distanza DR. Così potrà trovarsi l'imagine d'un oggetto FK di data dimensione, conducendo da ciascun punto di questo oggetto

Angoli d' incidenza	Raggi reflessi	
	Acqua	Vetro
5°	501	549
10	333	412
15	211	299
50	22	34
70	18	25
90	18	25
	Mercurio e specchio di metallo lucido	
11 ½	754	

Lambert, esponendo una lastra diafana a faccie parallele all'azione della luce (*fig.* 297), ha trovato che la seconda faccia, sotto lo stesso angolo, rifletteva più luce della prima: e Arago ha poi osservato, che i seni degli angoli sotto i quali la prima e la seconda faccia reflettono la stessa porzione di luce, sono come i seni degli angoli d'incidenza e di refrazione. Così, se un raggio di luce IS, cadendo sulla prima faccia CD, si rifletta, per esempio, $\frac{1}{10}$ di tutta la luce incidente, si rifletterebbe altresì $\frac{1}{10}$ del raggio refratto, che cade sulla seconda superficie AB, se non fosse modificato dalla polarizzazione, come vedremo a quell'articolo. Poisson ha dimostrato, che questo resultamento è una conseguenza della teoria dell'onde.

una perpendicolare allo specchio, e prolungandola fuori dello specchio, tanto quanta è la distanza dal punto allo specchio medesimo (*fig.* 299).

Si noti intanto, che gli oggetti veduti in uno specchio piano, compariscono di grandezza e di forma naturale; e solo l'imagine è meno brillante dell'oggetto, perchè lo specchio assorbisce sempre un poco di luce

Se si sposta l'oggetto, l'imagine pure comparisce spostata altrettanto: e se al contrario è mosso lo specchio, il moto dell'imagine è doppio; e ciò infatti deve accadere, perchè l'imagine e l'oggetto son sempre egualmente distanti dallo specchio. È questa la ragione, per cui un oggetto verticale posto davanti ad uno specchio parimente verticale, sembra orizzontale se lo specchio venga inclinato 45.

Specchi curvi

439. In generale non si adoprano specchi che di figura sferica, perchè troppo difficile è il formarli d'altra curva. Siccome una superficie curva è una riunione di infinite superficie piane, le considerazioni da noi fatte sopra gli specchi piani, potranno servirci nelle ricerche che siamo per fare sugli specchi concavi e convessi.

Supponiamo primieramente un raggio luminoso *m*O (*fig.* 300) parallelo all'asse AC, e che cada in *m* sullo specchio sferico; in tal caso esso si rifletterà sul piccolo elemento della superficie sferica come sopra un piano, facendo l'angolo di reflessione F*m*C eguale all'angolo d'incidenza C*m*O, e restando nel piano della normale C*m* e del raggio incidente. Per trovare il punto F d'intersezione del raggio reflesso e dell'asse, bisognerà osservare che gli angoli F*m*C e C*m*O sono eguali, come angoli di reflessione e d'incidenza; e che i due angoli FC*m*, C*m*O son pure eguali come alterni interni: dunque gli angoli *m* e C del triangolo *m*CF son ancor essi eguali: dunque FM=FC. Ma poichè l'arco A*m* è sempre una piccolissima porzione della circonferenza, le linee AF, F*m* son quasi eguali; dunque il punto F è quasi nel mezzo del raggio AC. Ciò che abbiamo detto d'un solo raggio e d'una sola sezione dello specchio, potrebbe ripetersi per tutto un fascio luminoso e per tutta la superficie dello specchio medesimo. Del resto, il punto F, in cui si riuniscono tutti i raggi paralleli all'asse AC, si chiama *fuoco principale*, e AF la distanza *focale principale*.

440 Supponiamo ora il punto luminoso posto in P sull'asse al di là del centro. A prima vista si scorge, che l'angolo di incidenza P*m*C (*fig.* 301) è minore che nel caso del paral-

lelismo, e quindi sarà pure minore l'angolo di reflessione; dunque il *fuoco coniugato* (1), sarà fra il fuoco principale ed il centro. Paragonando il valore dell'angolo d'incidenza nel triangolo PmC con l'angolo di reflessione nel triangolo P'mC, si deduce $2ACm = AP'm + CPm$. Sostituendo a questi angoli, sempre piccolissimi, le loro tangenti, abbiamo

$\frac{2A'm}{AC} = \frac{A'm}{A'P'} + \frac{A'm}{A'P}$, ossia, poichè AA' è prossimamente eguale a zero, a motivo della piccolezza dell'arco Am,

$\frac{2A'm}{AC} = \frac{A'm}{AP'} + \frac{A'm}{AP}$, e dividendo tutto per A'm, verrà

$\frac{2}{AC} = \frac{1}{AP'} + \frac{1}{AP}$; dal qual rapporto si rileva la situazione del fuoco coniugato P', quando son dati il raggio AC della sfera e la distanza AP. Che se in questa formola AP fosse infinita, avremmo nuovamente il valore della distanza focale principale, che abbiamo determinato direttamente.

Se il punto luminoso fosse in P', con lo stesso calcolo troveremmo il valore di AP. Chiaro dunque apparisce egualmente, che se la luce partisse dal centro, al centro sarebbe rimandata per reflessione.

441. Per contemplare tutti i casi possibili, esaminiamo un' ultima posizione del punto luminoso, cioè poniamolo fra lo specchio ed il fuoco principale (*fig.* 302). L'angolo d'incidenza PmC è maggiore dell' angolo FmC: ora un raggio incidente Fm darebbe un raggio parallelo all'asse; dunque il raggio reflesso mD, corrispondente al raggio incidente Pm, deve allontanarsene maggiormente, e non taglierà l'asse se non col suo prolungamento mP' in un senso opposto a quello della sua direzione. Prendendo dal triangolo PmC il valore dell'angolo D' d'incidenza PmC, e dal triangolo CmP' quello dell'angolo di reflessione CmD, ed applicando a questi angoli un calcolo simile a quello del n.° 440, avremo il rapporto

$\frac{2}{AC} = \frac{1}{AP} - \frac{1}{AP'}$. Il qual rapporto è eguale a quello trovato di sopra, prescindendo dal segno; dal che si conclude, che

(1) Il fuoco coniugato è quel punto sull'asse, dove si riuniscono dopo la reflessione tutti i raggi incidenti non paralleli all'asse medesimo.

la formola $\frac{2}{AC}=\frac{1}{AP}+\frac{1}{AP'}$ conviene agli specchi concavi ed ai convessi, sol che le linee AP, AP′ abbiano il segno *più* per la concavità, e il segno *meno* per la convessità. Ordinariamente si rappresentano le linee AC, AP, AP′ con r, p, p', sicchè la formola generale si scrive $\frac{2}{r}=\frac{1}{p}+\frac{1}{p'}$, espressione più facile per la memoria.

442. Se il punto fosse posto fuori dell'asse (*fig.* 303), si troverebbe il suo fuoco coniugato conducendo una linea PC per il centro, la quale diverrebbe l'asse relativamente al punto P, e tutto ritornerebbe come nel n.° 440, giacchè basterebbe fare sull'asse PCD ciò che è stato fatto quando il punto era sull'asse PCA.

443. Facilissimo è il trovare l'imagine d'un oggetto, poichè per ogni punto di esso basta ripetere la costruzione precedente (*fig.* 304), e si ha l'imagine rovesciata. Per la similitudine dei triangoli H′P′C e PHC, abbiamo la proporzione P′H′ : PH :: P′C : PC, dalla quale si deduce la grandezza P′H′ dell'imagine. Osservando solo la figura si rileva, che l'imagine d'un oggetto posto al di là del centro, sarebbe minore di questo oggetto; che sarebbe il contrario, se l'oggetto fosse fra il fuoco principale ed il centro; e finalmente, che un oggetto posto fra il fuoco e lo specchio non produrrebbe veruna imagine, a motivo della divergenza dei raggi dopo la reflessione. Questi diversi casi possono rendersi osservabili con l'esperienza; e precisamente la circostanza del rovesciamento può dar luogo ad un'esperienza molto graziosa. Si pone in P′H′ un mazzo di fiori rovesciato, che si procura di tenere occulto: allora un osservatore situato opportunamente in PH, ne vede per reflessione l'immagine ingrandita e raddrizzata. Ho detto *situato opportunamente*, poichè come si rileva osservando la *fig.* 304, nella quale son segnati due raggi che partono dal punto P′ dell'oggetto, l'occhio deve trovarsi nella direzione dei raggi luminosi che si riuniscono in PH; e a motivo della grandezza della pupilla, esso può abbracciare l'ammasso dei fasci che formano l'imagine totale.

Applicazioni numeriche—Specchi concavi

444. Il raggio dello specchio (*fig.* 304) sia di $0^m,75$: la linea PH $0^m,05$; e la sua distanza sia 3 metri: si cerca la situazione e la grandezza dell'imagine P′H′. È chiaro che questa

imagine è rovesciata; la sua situazione si determina come al n.° 440, sol che nel rapporto $\frac{2}{AC}=\frac{1}{AP}+\frac{1}{AP'}$ si sostituiscano i valori di AC=0^m,75, e di AP=3^m,00; e si trova AP'=0^m,428. Ecco la situazione dell' imagine determinata fra il centro ed il fuoco

La grandezza si rileva dalla proporzione P'H' : PH :: P'C : PC (n.° 443), nella quale tutto è noto, eccettuata P'H' che è la grandezza dell' imagine: PH=0^m,05; P'C=AC—AP'=0^m,75 —0^m,428=0^m,322: CP=AP—AC=3^m,00—0^m,75=2^m,25: dunque avremo P'H' : 0,05 :: 0,322 : 2,25, e di quì P'H' =0^m,007, mentre la grandezza dell' oggetto era 0^m,05 ossia 50 millimetri. Con un calcolo eguale troveremmo, che un oggetto di 35 millimetri, posto a 0^m,45 di distanza dallo specchio stesso, produrrebbe un' imagine di 0^m,175, situata a 2^m,25.

Altra applicazione — Specchio convesso

445. Un oggetto di 0^m,05 è situato a 3^m di distanza da uno specchio convesso che ha per raggio 0^m,75. Si domanda la situazione e la grandezza dell' imagine (*fig.* 305).

Primieramente per mezzo della formola del n.° 441 si troverà, che la distanza AP' è 0^m,33; dunque l' imagine si trova posta nella concavità dello specchio a 0^m,33. Inoltre, per la similitudine dei triangoli PHC, P'H'C, sarà PH : P'H' :: PC : P'C, dal che si deduce l'altezza dell' imagine P'H'=0^m,0056.

Determinazione dei fuochi

446. Prima d' adoprare specchi sferici nelle esperienze, giova determinarne i fuochi. Questa operazione è semplicissima. Se lo specchio è concavo, si presenta al Sole o ad altro oggetto luminoso e lontano, e se ne riceve l' imagine sopra un piccolo cartone; e il punto F, in cui l' imagine è più distinta, è il fuoco principale; AF è la distanza focale principale, e il doppio di AF è il ragio AC (*fig.* 306). Se lo specchio è convesso, (*fig.* 307), bisogna coprire la sua superficie con un foglio di carta, lasciando scoperti due punti soltanto, sopra un medesimo diametro, ed egualmente distanti dal centro della figura; presentare al Sole questo specchio così preparato, e ricevere sopra un cartone i raggi reflessi, finchè la distanza HK sia doppia di MN. È chiaro che allora DF sarà doppia di AF o di DA; dunque DA è eguale alla distanza focale principale.

Uso degli specchi per eccitare la combustione

447. Quando si ricevono sopra uno specchio concavo i raggi solari, parallelamente all' asse dello specchio, si concentra nel suo fuoco una tal quantità di calore da infiammar corpi combustibili, e perfino da volatilizzar metalli.

Da quanto abbiamo detto relativamente agli specchi concavi apparisce, che accrescendo le dimensioni dello specchio, non ne verrebbe accresciuto in proporzione l' effetto.

Il P. Kirker in vece d' uno specchio concavo, ne formò uno con la riunione di più specchi piani, disposti in modo, che i fasci luminosi venissero a riunirsi in uno stesso punto.

Buffon fece costruire uno specchio poligono, composto di cento sessantotto lastre di cristallo amalgamate, capaci di muoversi per ogni verso; sicchè potendo egli variare a piacere l' inclinazione delle lastre fra loro, poteva portare i fuochi a diverse distanze. Questo specchio bruciava il legno a 200 piedi di distanza, e fondeva il piombo e il rame a 45 piedi. Le quali esperienze rendono meno improbabile ciò che le storie raccontano di Archimede, relativamente all' assedio di Siracusa.

Della Refrazione

448. La luce, quando entra in mezzi diafani, in direzione non perpendicolare alla loro superficie, soffre una deviazione, che è stata chiamata *refrazione*. Il punto per il quale la luce entra in un mezzo, si chiama punto d' *immersione*, e quello per il quale esce, si dice punto d' *emergenza* (*a*).

L' *angolo d'incidenza* SIP (*fig.* 308) è formato dal raggio incidente SI e dalla perpendicolare IP condotta per il punto d'immersione sulla superficie AB del mezzo: l' *angolo di refrazione* RIV o RIU è quello che forma il raggio refratto IU o IV con la stessa perpendicolare prolungata in IR (*b*).

Nell' ipotesi dell' emissione si comprende, che quando un raggio luminoso si avvicina ad un mezzo, l' attrazione esercitata da questo mezzo sulle molecole di cui è composto il raggio, cambia nel tempo stesso e velocità e direzione, e questa direzione diviene nuovamente rettilinea quando ha penetrato nel mezzo fino ad una profondità, ove l' attrazione cessa d' esser sensibile.

(*a*) Esistono alcuni cristalli nei quali il fascio incidente si divide in due fasci. Vedi *doppia refrazione*. Qui non si tratta che di refrazione semplice.

(*b*) *Vedi* al fine di questo Trattato la spiegazione della refrazione secondo la teoria dell' onde.

E così è infatti; e siccome quest'azione non si esercita che a piccolissime distanze, il raggio luminoso sembra spezzato nel punto d'immersione (*fig.* 309). Col calcolo si prova, che la velocità acquistata dalla luce nel secondo mezzo, è indipendente dalla direzione primitiva del raggio, e che il rapporto di questa velocità a quella della luce incidente è eguale al rapporto dei seni degli angoli di incidenza e di refrazione.

Legge di Refrazione

449. In generale, quando il secondo mezzo è più denso del primo, l'angolo di refrazione RIV (*fig.* 308) è minore dell'angolo d'incidenza SIP: nel caso contrario, l'angolo RIU è maggiore dell'angolo d'incidenza SIP.

Dall'osservazione resulta, 1.° che il raggio incidente SI, la perpendicolare IRP e il raggio refratto IV o IU, sono in un medesimo piano; 2.° che esiste un rapporto costante fra il seno dell'angolo d'incidenza e il seno dell'angolo di refrazione. Per esempio, se la luce passa dall'aria nel vetro, il seno d'incidenza sta al seno di refrazione :: 3 : 2; e se passa dall'aria nell'acqua, questo rapporto è :: 4 : 3. Questa legge è conosciuta sotto il nome di legge di Cartesio, che fu il primo a scoprirla.

450. Ecco la dimostrazione sperimentale della legge di refrazione.

Sia un prisma triangolare ABC (*fig.* 310) d'una sostanza trasparente: si situa in maniera che una costola AC della sua base sia verticale, e il suo asse orizzontale, e si fa arrivare un raggio DF perpendicolarmente alla faccia d'incidenza AC. Penetrando esso nella sostanza senza deviare, incontrerà la faccia AB con la sua direzione primitiva; nell'escire dalla faccia AB, devierà talmente, che si allontanerà dalla perpendicolare, e proseguirà nella direzione EH. Allora per mezzo di una riga verticale *lm* si può provare che il raggio spezzato DEH è in un medesimo piano, normale alla superficie di separazione dei due mezzi. Si osserva ancora che esso produce sulla riga un'imagine colorata e bislunga; ma di questa circostanza parleremo nell'articolo della *dispersione*. Qui vogliamo soltanto provare, che costante è il rapporto dei seni d'incidenza e di refrazione. Nella disposizione prescelta del prisma, basta conoscere l'angolo di refrazione, poichè l'angolo d'incidenza DEN è complemento di AED, e l'angolo refrangente CAB essendo noto, si trova AED suo complemento. Vediamo come si determina l'angolo di refrazione IEH. Questo angolo è composto di IEF eguale all'angolo d'incidenza DEN, e di HEF; e per avere HEF si misura FH ed EF, il che è facile. Da una parte FH è data dalle divisioni della riga *lm*, ed

EF dalla distanza di *lm* dal prisma, il che può determinarsi rigorosamente. Conoscendo i due lati EF, FH, si trova il terzo HE; e il seno dell'angolo FEH è eguale ad FH diviso per HE. Ripetendo quest' esperienza con prismi di egual materia, ma di angoli refrangenti diversi, troveremo che il valore del rapporto $\frac{\text{sen } i}{\text{sen } r}$ è costante per qualunque incidenza. In seguito indicheremo il modo di determinare lo stesso rapporto nelle sostanze liquide e aeriformi.

451. Conoscendo la refrazione della luce, siamo in grado di spiegare varii fenomeni. Così, se ci mettiamo ad una certa distanza da un vaso voto, in tal situazione che l'occhio sia troppo basso per scorgere il fondo del medesimo, se il vaso venga empito d'acqua, ne scorgeremo subito il fondo, perchè la luce venendo dall'acqua nell'aria, soffre una refrazione che l'allontana dalla perpendicolare, e può giungere all'occhio, quantunque il punto veduto sia separato da esso dalla parete opaca del vaso. Nello stesso modo si spiega l'apparenza che presenta un bastone immerso in parte nell'acqua: parimente così si spiega la possibilità di vedere il Sole o qualunque altro astro posto sotto l'orizzonte, giacchè anco questo fenomeno dipende in gran parte dalla refrazione che prova la luce passando dal voto nella nostra atmosfera.

Refrazione nei mezzi terminati da superficie curve

452. L'indicazione dei principali resultamenti che presenta la luce entrando in mezzi terminati da superficie curve, è indispensabile per ben comprendere gli strumenti di ottica, il meccanismo della visione, ec.

Consideriamo primieramente un mezzo di vetro, indefinito da una parte, e dall'altra parte terminato con una porzione *mAn* di superficie sferica (*fig.* 311); supponiamo un raggio SI parallelo all'asse AC del mezzo *mAn*C. Per ben comprendere qual genere di deviazione prova questo raggio nel punto d'incidenza I, dal centro C della sfera bisogna condurre il raggio CI, che è perpendicolare al piano tangente KL: ma siccome una superficie curva non è che la riunione d'un numero infinito di superficie piane, il piano KL si confonde con la sfera nel punto I. La luce passando da un mezzo più raro in un mezzo più denso si avvicina alla perpendicolare, e va ad incontrar l'asse AC in P, e in questo punto P, che si chiama fuoco, si riconcentrano tutti i raggi paralleli ad SI, ed egualmente lontani dall'asse.

I raggi più lontani dall'asse si riuniranno in P'', e i raggi meno lontani in P', dimanierachè il fuoco non è un punto

unico, ma vi si avvicina tanto più, quanto la superficie *mAn* è meno estesa.

Se il punto luminoso è situato sull' asse in P (*fig.* 312), il raggio incidente PI, facendo un angolo d'incidenza PIC′ maggiore che nel caso del parallelismo (*fig.* 311), darà un angolo di refrazione CIP′ parimente maggiore, e il fuoco P′ dovrà essere più lontano. Osservando la *fig.* 312 si vede, che se il punto luminoso fosse troppo avvicinato al mezzo *mAn*, i raggi refratti non taglierebbero l' asse. Dalla quale osservazione resulta, che il fuoco P′ procede in senso inverso di quello del punto luminoso (*a*).

Applicazione

453. Un oggetto lungo $0^m,07$, è posto primieramente a $0^m,259$, e quindi a $3^m,35$, da un mezzo terminato in sfera, il raggio della quale è $0^m,75$: si domanda la grandezza e la situazione

(*a*) Sia l il rapporto $\frac{\text{sen}PIC'}{\text{sen}CIP'}$, che è prossimamente eguale a $\frac{PIC'}{CIP'}$, a motivo della piccolezza degli angoli PIC′, CIP′. Paragonando i triangoli PIC, CIP′, abbiamo $CIS' = ACI + CPI$; $CIP' = ACI - CP'I$; e moltiplicando quest' ultima equazione per il rapporto l di refrazione, sottraendone la prima, e scancellando CIS′ e il suo eguale $CIP'l$, abbiamo $(l-1)\,ACI = CPI + lCP'I = API + lAP'I$: sostituendo le tangenti agli angoli, sarà $(l-1)\frac{A'I}{A'C} = \frac{A'I}{A'P} + \frac{lA'I}{A'P'}$; e dividendo tutto per A′I, e osservando che AA′ è sensibilmente nullo, perchè l' arco AI è una piccolissima parte della sfera, avremo il rapporto cercato $\frac{(l-1)}{AC} = \frac{1}{AP} + \frac{l}{AP'}$ (B).

Se sia $AP = \infty$, sarà $AP' = \frac{AC \times l}{l-1}$, espressione della distanza focale principale, la quale però può anco determinarsi direttamente (*fig.* 311). Che se il punto luminoso fosse tanto vicino al mezzo, che la refrazione potesse far convergere il raggio verso l' asse AC, con un calcolo simile al precedente troveremmo (*fig.* 313) $\frac{l-1}{AC} = \frac{1}{AP} - \frac{l}{AP'}$; sicchè, sostituendo r, p, p' ad AC, AP, AP′, la formola generale diverrà $\frac{l-1}{r} = \frac{1}{p} \pm \frac{l}{p'}$, prendendo il segno + per il raggio refratto nel mezzo (*fig.* 312).

dell' imagine. Il rapporto di refrazione sia $l = \frac{1}{5}$: per la prima distanza $0^m,259$, si trova $AP' = -0,469$, dove il segno negativo indica che l'imagine si trova fuori del mezzo, dalla stessa parte dell'oggetto; e la grandezza dell'imagine P'H' è $0^m,085$ (*fig.* 314). Per la seconda distanza $3^m,55$ si trova $AP' = 4^m,074$, l'imagine si trova nel mezzo (*fig* 315), e la sua grandezza si determina paragonando i due triangoli simili PHO, OP'H'. Questi due triangoli danno PH : P'H' : : OP : OP', ossia 0,07 : P'H' : : 4,10 : 3,324, e quindi $P'H' = 0^m, 057$.

Da questi due esempii si rileva opportunamente, quanto la distanza influisca sulla situazione dell' imagine.

Lenti

454. Or che conosciamo la deviazione che prova la luce nell'entrare in un mezzo di vetro, terminato da una porzione di superficie sferica, cerchiamo di conoscere il suo andamento nel passare a traverso d'una lente. E primieramente consideriamo il caso d' una lente biconvessa (*fig.* 316).

Per trovare la deviazione d' un raggio di luce SI parallelo all' asse CAC', si conduca al punto I d'incidenza il raggio della sfera; questo sarà perpendicolare al piano tangente al punto I. Il raggio luminoso si avvicinerà a questa perpendicolare, e anderà per la direzione I*m*; e nell' incontrare la superficie A*m* proverà un'altra deviazione, e in vece di proseguire il suo cammino in linea retta I*m*P', si allontanerà dalla perpendicolare C'*m*, e anderà a tagliar l'asse in P: quindi è chiaro che se supponiamo intorno all'asse CAC' un' infinità di raggi paralleli ad SI, ed egualmente lontani dall' asse, anderanno a tagliar questo nel medesimo punto P. In quanto poi ai raggi lontani dall' asse più o meno del raggio SI, il fuoco sarà più o meno avvicinato alla lente (n.° 452). Il punto P si chiama *fuoco principale* della lente.

Le lenti biconvesse riconcentrano la luce nel loro fuoco, e però son dette lenti convergenti: le lenti biconcave al contrario disperdono la luce, e quindi son dette lenti divergenti.

Sia SI un raggio, porzione d' un fascio cilindrico, parallelo all' asse CAC' della lente biconcava, e che cada in I sulla superficie anteriore di questa lente: arrivato nel punto I sarà refratto; e poichè passa dall' aria nel vetro, si avvicinerà alla perpendicolare CI, e anderà per la direzione I*n*; e sulla seconda superficie soffrirà una nuova refrazione, sicchè in vece di seguire la strada rettilinea I*n*D, si allontanerà dalla perpendicolare C'*n*, e anderà per la direzione *n*F (*fig.* 317).

Qualunque altro raggio di luce che cada parallelamente all' asse sulla lente, dopo la sua emergenza si allontana dall' asse, sicchè questo non è incontrato dalla luce refratta: dunque in questo caso non v'è alcun fuoco reale; e se si prolunga il raggio nF nel senso di Fn, esso anderà a tagliar l'asse in P. Questo punto è stato chiamato *fuoco imaginario* o *fuoco virtuale*, per distinguerlo dal fuoco reale delle lenti convergenti, che ha un'esistenza fisica, determinata dalla riunione effettiva dei raggi.

455. Le lenti sono ancora piano-convesse, piano-concave, e convesso-concave: in queste ultime il raggio esterno è maggiore o minore del raggio interno (*fig.* 318). La differenza di densità del vetro e dell' aria, combinata con le diverse configurazioni, ci condurrebbe a resultamenti che facilmente possiamo prevedere. In generale, per determinare l'andamento della luce in una lente, bisogna condurre a ciascun punto d' incidenza una perpendicolare: se la luce passa da un mezzo più raro in un mezzo più denso, si avvicina alla perpendicolare; e nel caso contrario se ne allontana.

Determinazione dei fuochi

456. Per trovare il fuoco d' una lente convergente, si espone questa lente al Sole o ad una luce molto lontana, e se ne riceve l'imagine sopra un cartone; e il punto in cui questa comparisce più distinta, è il fuoco; e la distanza fra la lente e il fuoco è la distanza focale principale.

Un poco più malagevole è la determinazione del *fuoco virtuale* d' una lente divergente (*fig.* 319). Si applica una foglia di stagnola sulla faccia opposta a quella che riceve la luce del Sole, lasciandovi soltanto due piccole aperture a e b; si riceve la luce refratta in H e in K sopra un cartone, che si muove finchè la distanza HK sia doppia di ab; e in questo caso, per la similitudine dei triangoli HKP, e aPb, Pr è doppia di Po e in conseguenza di ro. Quindi quando il cartone sarà in tal situazione, che HK sia doppia di ab, si misurerà la distanza or, e così si avrà la distanza focale principale, essendo $or = oP$ o $o'P$, poichè la grossezza della lente in generale è sì piccola che può esser trascurata (*a*).

(a) *Calcolo del rapporto che esiste fra i due fuochi d' una lente*

Sia P un punto luminoso sull' asse CAC' della lente (*fig.* 320): un raggio PI di luce partito da questo punto, e che incontra la lente in I, è refratto nel senso I': se il mezzo fosse illimitato, il raggio refratto anderebbe a tagliar l' asse in P', ma ciò non accade, e nel

457. Il punto P'' trovato con l'equazione (D) è il fuoco dei raggi paralleli; e AP'' è la distanza focale principale.

Il rapporto trovato nella formola (C) può applicarsi a tutte le lenti, sol che si prendano AC e A'C' positivamente, quando la convessità è dalla parte esterna, e negativamente nel caso contrario. Così se vogliamo la distanza focale principale d'una lente biconcava, bisognerà prendere nell'equazione (D) AC e A'C' negative, e verrà $\frac{1}{AP''} = -\frac{l-1}{CA} - \frac{l-1}{A'C'}$ (E); il qual valore si troverebbe direttamente per AP dalla *fig.* 317, sol che si facessero su questa figura i calcoli della nota precedente.

Dall'equazione (C) si rileva ancora, che A'P e AP'' debbon variare inversamente; così se A'P cresce, cioè se l'oggetto è situato ad una distanza maggiore dalla lente, l'imagine vi si avvicinerà, e se al contrario l'oggetto è avvicinato, quella si allontanerà.

Imagini prodotte dalla refrazione a traverso delle lenti

458. Posto un oggetto luminoso PH davanti ad una lente con-

punto I' il raggio II' passa dal vetro nell'aria, si allontana dalla perpendicolare CI', e va a tagliar l'asse in P'', più vicino alla lente. Si cerca dunque il rapporto che lega la distanza data A'P con la distanza cercata A'P''.

La nota precedente dà per A'P' il rapporto $\frac{l-1}{A'C'} = \frac{1}{A'P} + \frac{l}{A'P'}$.

Inoltre se un raggio di luce partito da P'' cadesse sulla faccia *nAm*, riprenderebbe la direzione I'I, dimanierachè se il mezzo fosse illimitato, bisognerebbe prolungare il raggio nel senso II', per fargli incontrare l'asse in P'. Dal paragone dei triangoli P''IC, P'IC, si ha $\frac{l-1}{AC} = \frac{1}{AP''} - \frac{l}{AP'}$. Sommando queste due equazioni, e osservando che A'P' è sensibilmente eguale ad AP', avremo $\frac{l-1}{AC'} + \frac{l-1}{AC} = \frac{1}{AP} + \frac{1}{AP''}$,

e facendo $AC = r$, $AC' = r'$, $AP' = p$ $AP'' = p'$, sarà

$\frac{l-1}{r'} + \frac{l-1}{r} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'}$ (C), che è il rapporto cercato.

Se il punto P è posto all'infinito, sarà $A'P = p = \infty$, e il rapporto diverrà $\frac{l-1}{r'} + \frac{l-1}{r} = \frac{1}{p'} = \frac{1}{a}$ (D): dove a è la distanza focale principale della lente, che si rappresenta con una lettera particolare.

vessa AA′ (*fig.* 321), ad una distanza finita e determinata, trovare la situazione e la grandezza dell' imagine P′H′.

Per sciogliere questo problema, bisogna prima definire il *centro ottico*, quindi indicare la costruzione del fuoco per un punto luminoso situato fuori dell' asse

1.° Il centro ottico è quel punto particolare che esiste in ogni lente, e tale che qualunque raggio vi passi, esce in una direzione parallela alla direzione che aveva prima di entrar nella lente; dimanierachè, attesa la piccolezza della lente, il raggio non soffre una deviazione sensibile. Per determinar questo punto, si conducono (*fig* 322) i due raggi di sfera *cm* e *cn*, paralleli fra loro: sia inoltre un raggio luminoso che cada in *n* con tal'inclinazione, che dopo refratto vada ad incontrare l'altra faccia in *m*: poichè gli elementi *m* ed *n* son paralleli, è chiaro che il raggio emergente *s′m* escirà parallelo al raggio incidente *sn*. I due triangoli simili *cmo*, *c′no* daranno la proporzione *cm* : *c′n* : : *co* : *c′o*, o *ca* : *c′a′* : : *co* : *c′o*; quindi *ca*—*co* (=*ao*) : *c′a′*—*c′o* (=*a′o*) : : *ca* : *c′a′*, cioè il centro ottico divide l'asse della lente in due parti proporzionali ai raggi delle facce alle quali terminano queste parti.

Il centro ottico d'una lente biconvessa o biconcava, formata di due curve eguali, si trova nel mezzo *o* della lente (*fig.* 322, 323): in una lente piano-convessa o piano-concava, è nel vertice della parte curva. Il centro ottico d' una lente concavo-convessa (*fig* 324) si troverebbe con un calcolo simile al precedente.

2.° Sia un punto luminoso *s*, situato fuori dell'asse (*fig.* 325). Si cerca il rapporto per il quale si possa conoscere la distanza *op*: a tal effetto si conduce la linea *so* per il centro ottico; e il fuoco coniugato *p* sarà necessariamente sul prolungamento di questa linea. Per determinarlo, si conduce la linea *si* parallela all' asse *coc′*, la qual linea, dopo la sua refrazione, va a tagliar l'asse nel fuoco dei raggi paralleli in *f*, e finalmente incontra in *p* la linea *so* prolungata. A motivo poi della piccola grossezza della lente, possiamo supporre la linea *sid* perfettamente parallela all'asse *cc′*. Paragonando dunque i triangoli simili *sdp*, *ofp*, avremo *sp* : *op* : : *sd* : *of*. Rappresentando con *p*, *p′*, *a* le distanze coniugate (n.° 456) *so*, *op*, e la distanza focale principale *of*, e osservando che *sd* è prossimamente eguale ad *so*, avremo $p + p' : p' : : p : a$;

e di qui $\frac{1}{p} + \frac{1}{p'} = \frac{1}{a}$, oppure $= \frac{l-1}{r} + \frac{l-1}{r'}$ (D). Questo rapporto è assolutamente lo stesso di quello che abbiamo trovato nella nota precedente per un punto situato sull'asse.

459. Facilissimo ora riesce il trovare la situazione e la gran-

dezza dell'imagine P'H' (*fig* 321). Dall'estremità P dell'oggetto si conduca per il centro ottico della lente la linea POP'; la quale sarà l'asse del fascio di tutti i raggi emanati dal punto P; e il fuoco determinato dal rapporto trovato nella formola (D) sarà in P'. Nello stesso modo si determina la situazione di tutti gli altri fuochi, e quindi anco quello dell'imagine P'H'. Si vede che l'imagine è situata al di là della lente, ed è rovesciata, perchè i fuochi si formano al di là del punto d'incrociamento degli assi dei fasci. L'imagine può riceversi sopra un cartone bianco, e l'esperienza riesce bene ancora con un semplice lume. Avremo poi luogo di verificare le altre particolarità del fenomeno; come pure vedremo che l'imagine si allontana quando l'oggetto si avvicina, e reciprocamente.

Applicazione alle lenti

460. 1.° PROBLEMA Un oggetto PH di $0^m,075$ (*fig.* 321) è situato a $1^m,25$ di distanza da una lente, che ha le due curve eguali, e ambedue hanno $0^m,65$ di raggio: si domanda la grandezza e la situazione dell'imagine. La lente è un vetro situato nell'aria; il rapporto l fra il seno d'incidenza e di refrazione è $\frac{3}{2}$. Facendo $l=\frac{3}{2}$, $r=r'=0^m,65$, $p=1^m,25$, nella formola (C) della nota del n.° 456, si trova $OD'=1^m,354$. L'imagine dunque è situata a $1^m,354$ dalla lente in H' P': ma per i triangoli simili POD, P' D' O, e per i triangoli HOD, H'OD' abbiamo PH : P' H' : : OD . OD', dunque

$$P'\,H'=\frac{PH\times OD'}{OD}=\frac{0,075\times 1,354}{1,25}=0^m,081,$$ grandezza dell'imagine.

2.° PROBLEMA. Lo stesso oggetto PH di $0^m,075$ è situato a $0^m,25$ dalla stessa lente: si cerca la grandezza e la situazione dell'imagine.

L'imagine è situata a $0^m,406$ di qua dalla lente, e la sua grandezza è $0^m,122$.

Lente biconcava

461. 3.° PROBLEMA. Un oggetto PH di $0^m,075$ è situato ad una distanza di $1^m,25$ davanti ad una lente biconcava, a faccie egualmente curve, di $0^m,65$ di raggio: trovare la situazione e la grandezza dell'imagine (*fig.* 326)

Abbiam detto che la formola delle lenti biconvesse era

applicabile alle lenti biconcave, cambiando soltanto il segno dei raggi. Dunque la formola delle lenti biconcave è

$$-\frac{l-1}{r}-\frac{l-1}{r'}=\frac{1}{p}+\frac{1}{p'}, \text{ ossia } -\frac{2(l-1)}{r}=\frac{1}{p}+\frac{1}{p'},$$

perchè $r=r'$: e facendo $r=0^m,65$, e $p=1^m,25$, si trova $p'=-0^m,427$. Il segno negativo indica che non v'è imagine al di là della lente, ma al di qua, in P′ H′; e siccome i punti A e O son vicinissimi tra loro, si ha PH : P′ H′ :: AP : AP′ :: $p : p'$, e quindi

$$P'H'=\frac{0^m,075\times 0^m,427}{1^m,25}=0^m,025.$$

Dall' andamento del raggio luminoso P*mn* si rileva l'impossibilità della formazione d' un'imagine al di là della lente, e che solamente sul prolungamento del raggio D*n* può trovarsi il fuoco P′; ed è questo il fuoco virtuale o imaginario delle lenti biconcave. Egualmente facile sarebbe il determinare gli altri fuochi, e però ci risparmiamo di descrivere l' andamento degli altri raggi, anco per non render troppo composta la figura. Nello stesso modo si troverebbe l' imagine prodotta a traverso d' una lente convesso-concava; e solamente i segni dei due raggi sarebbero uno positivo e l' altro negativo.

462 Fin qui abbiamo supposto che la luce passi dall' aria nel vetro, o in qualunque altra sostanza più densa dell' aria; ed è questo infatti il caso più comune e per le osservazioni e per gli strumenti: ma non meno facile sarebbe il trovare l' andamento della luce, quando da un mezzo più denso passa in un mezzo più raro. In questo caso essa si allontana dalla perpendicolare, dimanierachè le lenti biconvesse divengono divergenti, e le biconcave convergenti, ec.

463. Le lenti convergenti si usano per correggere il difetto di vista chiamato *presbitismo*, il quale dipende dall' essere alquanto spianata la parte anteriore dell' occhio, ed esiste quasi in tutti i vecchi. In tale stato dell' occhio i raggi luminosi tramandati dagli oggetti, si riuniscono al di là della retina, e quindi resulta confusa la visione. Una lente convergente posta davanti all' occhio, scema la divergenza dei raggi, e fa sì che questi possano riunirsi sulla retina stessa, e così la visione diviene chiara e distinta.

Il *miopismo* è il difetto opposto al presbitismo, e si trova spesso nei giovani. La convessità troppo grande dell' occhio riunisce troppo presto i raggi luminosi, e la visione è confusa. Una lente divergente posta davanti all' occhio, accresce la divergenza dei raggi, li fa concorrere sulla retina, e quindi la visione è resa distinta.

Siccome la curvatura dell' occhio varia al variar dell' età, così divien necessario per l' occhio il cambiamento degli occhiali. In seguito vedremo molti altri usi a cui servono le lenti.

Lenti a scaloni

464. Buffon ed altri Fisici avevan creduto possibile formar lenti composte. Fresnel nelle sue ricerche sui fari, avendo pensato di sostituire specchi ustorii agli specchi parabolici usati fin allora, dovette cercare di perfezionare le grandi lenti, e con questa veduta formò le lenti *a scaloni*.

Ecco la maniera di costruirle. Fatto centro in P (*fig.* 327) si descrive una porzione di sfera AB; quindi fatto centro in un punto P' preso fuori dell'asse, si descrive un'altra superficie sferica. Proseguendo nello stesso modo, si ottiene una lente composta di varie parti, della quale la *fig.* 327 rappresenta la sezione fatta da un piano che passa per l'asse. Col calcolo si trova la situazione di ciascun centro, e il valore del raggio corrispondente. Queste lenti esposte al Sole, producono nel loro fuoco un calore eccessivo, che è capace di traforare in un momento sottili foglie di latta che ivi sien poste.

Poichè queste lenti riuniscono in un solo punto i raggi paralleli che cadono sulla loro superficie, debbono render paralleli i raggi emessi da un punto luminoso posto nel loro fuoco: ma poichè una luce ha sempre dimensioni più o meno estese, una porzione del fascio ha una forma conica.

Indizii di refrazione; poteri refrattivi; poteri refrangenti

465 Nell' ipotesi dell' emissione, è stata chiamata col nome di *potere refrattivo* una funzione $u^2(l^2-1)$ della velocità della luce nel voto, e del rapporto di refrazione. Questo potere è proporzionale alla densità del mezzo nel quale è penetrata la luce; dimanierachè se si divide l'espressione precedente per questa densità che rappresenteremo con d, il quoziente $\frac{u^2(l^2-1)}{d}$ potrà considerarsi come il potere refrattivo d' ogni molecola; e questo è ciò che si chiama *potere refrangente*.

Poichè $l=\frac{\text{sen } i}{\text{sen } r}=\frac{v}{u}$, sarà $u^2(l^2-1)=v^2-u^2$, ossia eguale all'aumento della velocità della luce, dove u^2 rappresenta il quadrato della velocità della luce nel voto. Questa quantità, essendo

fattor comune, può esser soppressa nel paragone dei poteri refrangenti; dunque resta solo da determinarsi la quantità l, che già sappiamo essere eguale al rapporto $\frac{\text{sen } i}{\text{sen } r}$. Questo rapporto è noto presentemente sotto il nome di *indizio di refrazione*.

In quanto ai corpi solidi, questo rapporto può determinarsi col processo riportato nel n.° 449, o con altri processi analoghi.

Se si tratta di liquidi, si chiudono questi in vasi prismatici, formati di cristalli a facce piane e parallele; e poichè, lastre parallele non cambiano la direzione della luce, la refrazione che si osserva è effetto unicamente della sostanza liquida. Ecco la disposizione che sembra più vantaggiosa. Si fa un incavo cilindrico in una grossa lastra di vetro, che poi si taglia in forma di prisma, osservando che le due facce sieno perfettamente piane e levigate: si chiude questo incavo con lastre di vetro egualmente piane e levigate, e si fermano con regoli di rame. Per introdurre comodamente il liquido, si scava nella lastra di vetro un canale verticale *cd*, che poi si serra con un tappo di vetro (*fig.* 328); e prima di introdurvi il liquido, si osserva di rendere perfettamente parallele le facce di ciascuna lastra.

Questo processo si modifica ancora per le sostanze aeriformi. E poichè debolissimo è il loro potere refrattivo, si forma il prisma ad angolo ottusissimo. A tal effetto si adopra un grosso tubo cilindrico di vetro, e tagliato a scarpa alle due estremità, alle quali si fissano due vetri piani e levigati: al tubo è adattato un robinetto, per mezzo del quale può farvisi il voto con la macchina pneumatica, e quindi vi si introduce il gas che si vuole sperimentare. Per mezzo d'un barometro e d'un termometro si conosce l'elasticità e la temperatura di esso: il barometro è rappresentato da AB (*fig.* 329) in un gran tubo che è in comunicazione col prisma. L'esperienza sui gas richiede però molte precauzioni: primieramente bisogna ben prosciugarli prima d'introdurli nel prisma; e di più bisogna nel calcolo tener conto della temperatura e della pressione di ciascun gas, ed è finalmente necessario valutar con esattezza quanto il prisma refranga la luce.

Con tal apparecchio Biot e Arago hanno determinato i poteri refrattivi di molti gas. Essi misurano, per mezzo d'un circolo ripetitore, la deviazione che prova la luce nel passare a traverso del prisma, empito successivamente d'ogni fluido elastico. Questo processo richiede gran destrezza nell'arte dello sperimentare, poichè il prisma d'un angolo di 145°, e pieno d'aria a $0^m,76$, non produce che una deviazione di 5′ incirca. Conosciuto l'angolo del prisma, per trovare in qual modo dalla deviazione prodotta dal prisma pieno di gas, si possa dedurre l'indizio di

refrazione corrispondente a questo gas, sarebbero necessarii calcoli troppo lunghi, o non adattati al piano di quest'opera (*Vedi* t. 7 delle *Mem. de l' Instit.*, 1806).

Aggiungendo a questo apparecchio (*fig.* 330) un largo tubo pieno di mercurio, si può avere il gas a diversi gradi d'elasticità. Se si lascia cadere il mercurio per il robinetto inferiore, il gas si dilata e scema in densità, e la sua elasticità è misurata da un barometro che è in comunicazione col prisma; e dopo ogni esperienza si toglie il gas per mezzo d'una macchina pneumatica. Che se il gas è di tal natura da corrodere la tromba e il barometro, se ne misura l' elasticità dalla differenza di livello del mercurio nei tubi *i* e *z*: così esso non è più ritirato dalla tromba, ma dopo l' operazione viene escluso da una corrente di idrogene o d'acido carbonico (Dulong, *An. ch.* ec. t. 31).

Con questo apparecchio Dulong ha misurato gl' indizii di refrazione di moltissimi fluidi elastici, con un processo diverso da quello usato da Biot e da Arago. Questo consiste nel far variare la densità del gas interno, finchè la deviazione prodotta da questo gas sia eguale a quella che produce l' aria atmosferica, sotto una nota pressione. Allora per mezzo del rapporto fra gli aumenti di velocità della luce, e le elasticità d' uno stesso gas (n.° 467, 2.°), si trova quali sarebbero gli aumenti, se i due fluidi avessero la stessa elasticità.

Per i gas che hanno un potere refrattivo minore di quello dell' aria, come l'ossigene e l' idrogene, bisognerebbe comprimerli, perchè avessero lo stesso potere refrattivo dell' aria. Dulong al contrario dilata l' aria, il che produce lo stesso effetto, ed è molto più facile ad eseguirsi. Egli stesso ha formato una tavola dei poteri refrattivi dei principali gas e dei principali vapori, prendendo per unità il potere refrattivo dell' aria.

Per provare l' eguaglianza di velocità della luce in due gas, Dulong stesso si serve d' un canocchiale astronomico, munito di fili incrociati nel suo fuoco, che egli dirige sopra una mira, e a traverso del prisma aperto; se le facce son parallele, non accade veruna deviazione. Peraltro questa condizione non è necessaria nel processo di cui qui si tratta.

Poteri refrattivi dei gas alla stessa temperatura e sotto la stessa pressione, prendendo per unità quello dell' aria.

Nomi dei gas	Poteri refrattivi	Densità
Aria atmosferica.	1	
Ossigene.	0,924	1,1026
Idrogene.	0,470	0,0685
Azoto.	1,020	0,976
Cloro.	2,623	2,470
Ossido d'azoto.	1,710	1,527
Gas nitroso.	1,030	1,039
Acido idroclorico.	1,527	1,254
Ossido di carbonio.	1,157	0,972
Acido carbonico.	1,526	1,526
Cianogene.	2,832	1,818
Gas oliofaciente.	2,302	0,980
Gas delle paludi.	1,504	0,559
Etere muriatico.	3,720	2,234
Acido idrocianico.	1,531	0,944
Ammoniaca.	2,309	0,591
Ossi-cloro carbonico.	3,936	3,442
Idrogene solforato.	2,187	1,178
Acido solforoso.	2,260	2,247
Etere solforico.	5,197	2,580
Solfo-carburato.	5,110	2,644
Idrogene fosforato al minimo grado.	2,682	1,256

Questa tavola dà il rapporto dei poteri refrattivi, o i rapporti degli aumenti di velocità della luce, quando questa passa a traverso d'ognuno dei fluidi elastici inscritti nella tavola. E siccome l'unità comune è l'aumento della velocità nell'aria, a forza elastica eguale, così se si voglion dedurre da ciò gl'indizii di refrazione, bisognerà moltiplicare tutti i numeri della tavola per 0,000294, poichè secondo le osservazioni astronomiche di Delambre, e le misure dirette di Biot e d'Arago, l'aumento di velocità della luce nell'aria a $0^{m},76$ e a zero di temperatura, è di 0,000294 della sua velocità nel voto. Quindi i prodotti ottenuti da questa moltiplicazione, saranno gli aumenti assoluti della velocità della luce in ciascuno dei fluidi elastici; i quali aumenti, accresciuti dell'unità, che è la velocità della luce nel voto, diverranno gl'indizii di refrazione. Questi indizii sono inscritti nella tavola seguente, con i corrispondenti poteri refrattivi.

Nomi dei gas	Indizii di refrazione $l = \frac{\text{sen } i}{\text{sen } r}$	Poteri refrattivi o $l^2 - 1$
Aria atmosferica.	1,000294	0,000589
Ossigene.	1,000272	0,000544
Idrogene.	1,000138	0,000277
Azoto.	1,000300	0,000601
Ammoniaca.	1,000385	0,000771
Acido carbonico.	1,000449	0,000899
Cloro.	1,000772	0,001545
Acido idroclorico.	1,000449	0,000899
Ossido d' azoto.	1,000503	0,001087
Gas nitroso.	1,000303	0,000606
Ossido di carbone.	1,000340	0,000681
Cianogene.	1,000834	0,001668
Gas oliofaciente.	1,000678	0.001356
Gas delle paludi.	1,000443	0,000886
Etere muriatico.	1,001095	0,002191
Acido idrocianico.	1,000451	0,000903
Ossi-cloro-carbonico.	1,001159	0,002318
Acido solforoso.	1,000665	0,081331
Idrogene solforato.	1,000644	0,001288
Etere solforico.	1,001153	0,003061
Solfo carburato.	1,001150	0,003010
Idrogene proto-fosforico.	1,000789	0,001579

Tavola degl' indizii di refrazione e dei poteri refrattivi di molti corpi liquidi e solidi

NATURA DELLE SOSTANZE REFRANGENTI	INDIZII DI REFRAZIONE $l = \frac{\text{sen } i}{\text{sen } r}$	POTERI REFRATTIVI $l^2 - 1$
Solfato di Barite.	1,643	1,699
Vetro d'antimonio.	1,888	2,568
Solfato di calce.	1,488	1,212
Vetro comune.	1,550	1,402
Cristallo di monte.	1,562	1,444
Spato d'Islanda.	1,666	1,777
Sal gemma.	1,545	1,388
Allume.	1,458	1,126
Borace.	1,466	1,151
Nitro.	1,524	1,345
Cromato di piombo (a).	2,970 2,926	7,811 7,561
Arsenico rosso.	2,549	5 497
Solfato di ferro.	1,515	1,294
Acido solforico.	1,428	1,041
Acido fosforico solido.	1,544	1.384
Acqua piovana.	1,336	0,784
Gomma arabica.	1.476	1,178
Spirito di vino rettificato.	1,370	0,876
Canfora.	1,500	1,250
Olio d'oliva.	1,466	1,151
Olio di lino.	1,481	1,194
Essenza di terebinto.	1,471	1,155
Ambra.	1,555	1,420
Diamante.	2,439	4,949
Fosforo.	2,224	3,946
Solfo fuso.	2,148	3,614
Solfo nativo.	2,115	3,473

466. Ecco le principali conseguenze dedotte dalle ricerche fatte sui poteri refrattivi

1.° In generale, a parità di circostanze, le sostanze infiammabili hanno molto potere refrattivo, come già osservò Newton: nondimeno vediamo che il cromato di piombo ha un potere refrattivo maggiore di qualunque altra sostanza.

2.° Da Arago e da Biot è stato provato, che per uno

(a) Il cromato di piombo, perchè ha doppia refrazione, ha due valori di *l*. *Vedi* doppia refrazione.

stesso gas, l'aumento (*a*) di velocità della luce, passando dal voto in un gas, resta esattamente proporzionale alla sua densità. La qual legge è stata verificata da Dulong sopra molti gas, che non erano stati sperimentati da Arago e da Biot.

3.° Arago e Petit hanno trovato, che i vapori hanno un potere refrangente minore dei liquidi dai quali emanano: ciò almeno si verifica nel solfuro di carbone, nell'etere solforico e nell'etere idroclorico (*An. ch.* t. 1).

4.° Un resultamento anco più singolare si è, che l'acqua, secondo Arago, refrange la luce sempre più, anco divenendo meno densa col raffreddarsi fino a — 4.° Secondo Eulero il vetro caldo refrange più del vetro freddo.

5.° Sembra assai dimostrato dalle esperienze, che non esiste alcun rapporto semplice fra i poteri refrattivi delle sostanze elementari o composte: così il potere refrattivo dell'idrogene è quasi la metà di quello del gas ossigene, e la sua densità è 13 o 14 volte minore.

Il potere refrattivo del vapore d'etere idroclorico è $\frac{3}{4}$ maggiore di quello dell'acido solforoso; e quel vapore è meno denso di questo.

Il vapore d'etere solforico ha un potere refrattivo doppio di quello del cloro, ed è poco più denso di esso.

Il gas oliofaciente è quasi egualmente denso dell'ossido di carbone, ed ha un potere refrattivo quasi doppio di questo.

6.° L'aria è il solo gas composto, che abbia un potere refrattivo eguale a quello che si deduce dai suoi elementi.

Il potere refrattivo dedotto dagli elementi dell'ammoniaca, supera di $\frac{2}{17}$ quello che appartiene realmente a questo gas, e fra gli altri vapori e fra gli altri gas passano differenze anco maggiori.

Il 3.° e il 4.° resultamento non son favorevoli alla teoria dell'emissione, secondo la quale il potere refrangente di un corpo dovrebbe essere indipendente dallo stato di questo corpo. Su ciò può vedersi la Memoria di Dulong *An. ch.* t. 31, p. 154.

467. Wollaston ha proposto un ingegnoso processo per misurare il potere refrangente dei corpi opachi. Diamo un'idea succinta di questo processo, fondato sulla reflessione totale della luce.

Per verificare il fenomeno della reflessione totale a contatto di due mezzi, si ponga una goccia d'acqua o d'altro liquido sotto un prisma (*fig.* 331), e si giri questo sul suo asse; e si

(*a*) O la diminuzione della velocità, se si ammette l'ipotesi delle on.de.

vedrà che la reflessione totale accaderà più tardi nel punto della goccia d'acqua, che sugli altri punti della faccia AB: a poco a poco i raggi divenendo più obliqui, la reflessione totale comincia nel punto *m*, e la goccia d'acqua sparisce. Ora in vece d'una goccia d'acqua, si metta una sostanza opaca, e in vece di far girare il prisma, si abbassi l'occhio lungo un regolo (*fig.* 332), finchè la reflessione totale accada nel punto di contatto del corpo opaco situato in *m*. Poichè le linee CH e CK son divise, si conoscerà l'angolo d'incidenza corrispondente alla reflessione totale, e col calcolo si troverà il potere refrangente del corpo. Di questo processo sono state fatte varie applicazioni da Wollaston medesimo, da Malus e da Brewster. Nell'articolo del microscopio vedremo un processo di questo fisico per misurare l'indizio di refrazione dei liquidi; e nell'articolo della diffrazione vedremo un nuovo modo di misurare la forza refrangente dei gas, proposto da Arago.

Miraglio

468. Fin qui abbiamo considerati mezzi di densità uniforme, per i quali la luce si muoveva in linea retta; ma non accaderebbe lo stesso se la densità fosse variabile. Un mezzo di densità variabile può considerarsi come formato dalla sovrapposizione d'infiniti strati di densità diverse, e d'un'altezza piccolissima, sicchè la direzione del raggio si trovi ad ogni istante modificata. Se la densità degli strati va decrescendo dall'alto in basso, il raggio di luce percorrerà questo mezzo nella direzione d'una curva, le braccia della quale saranno simmetriche (*fig.* 333). Se un osservatore si trovi situato in D, e guardi un oggetto B, potrà vedere due imagini, una direttamente in B, e l'altra nella direzione della tangente DB'.

Si può anco formare un mezzo che vada crescendo in densità dal basso in alto. A tal effetto basta empire una cassetta di carboni accesi; allora i gas prodotti nella combustione, sono in prima dilatati, e in conseguenza leggerissimi; ma poi, a misura che si elevano in alto, si raffreddano e quindi si condensano. Si ottiene un decrescimento inverso, mettendo in un bicchiere un po' d'acido solforico concentrato, e quindi un po' d'acqua: dopo ciò, se si incolli sopra un punto del bicchiere una piccola striscia di carta, e si guardi a traverso del liquido, la striscia si vedrà doppia.

469. Analogo ai citati è un fenomeno naturale, osservato già da molto tempo, e noto sotto il nome di *miraglio*, e che spesso comparisce nell'Egitto. Fra giorno i raggi d'un Sole

ardente hanno elevata la temperatura d'un terreno formato di sabbia, che ha pochissima capacità per il calore. Lo strato d'aria che è a contatto col terreno, si eleva esso pure in temperatura, e si dilata in modo, che divien meno denso degli strati superiori: quindi l'atmosfera è composta di strati che crescono in densità dal terreno fino ad una certa altezza. Allora i raggi che vengono dagli oggetti, ad angolo molto acuto, producono una curva (*fig.* 334), e l'osservatore vede due imagini, una diritta e nel luogo dell'oggetto, l'altra rovesciata A′ B′ e inferiore all'imagine diritta AB. La sera e la mattina il terreno essendo alla temperatura ordinaria, l'aspetto del paese non presenta nulla di singolare, e gli oggetti compariscono nel luogo che occupano realmente; ma a mezzo del giorno il terreno comparisce come coperto d'una generale inondazione, e gli oggetti e le case sembrano essere in mezzo alle acque; sotto ogni casa si vede rovesciata l'imagine di essa, come si vedrebbe in mezzo ad un lago; ma il viaggiatore a misura che si inoltra verso questi oggetti, vede allontanarsi i limiti di questa inondazione, che infine sparisce totalmente. La quale illusione è spesso crudele nel deserto, perchè presenta l'imagine dell'acqua nel momento in cui il passeggiere ne avrebbe il massimo bisogno.

Oltre alla Memoria di Monge su questo argomento, possono ancora riscontrarsi nelle *Memorie dell' Instituto*, 1809, le osservazioni che Biot e Mathieu fecero nel loro soggiorno a Dunkerque.

Questo fenomeno si osserva qualche volta in mare, ma vi è meno frequente e di minor durata. Anco sul lago di Ginevra è stato osservato da Jurine e Soret.

Scomposizione della luce

470. Fin qui abbiamo riguardata la luce come composta di fasci semplici; ma ciò non è in realtà, poichè la luce che ci viene dal Sole e da ogni altro corpo luminoso, è formata di sette colori principali, che sono violetto, indaco, turchino, verde, giallo, arancio e rosso. Ciascuno di questi fasci porta in se un colore primordiale, ed altre qualità sue proprie. Dalla mescolanza di questi sette colori nascono tutti i colori della natura e dell'arte; e dalla riunione di tutti resulta il bianco.

Il Grimaldi si era accorto della scomposizione della luce operata dal prisma, ma in sostanza fu Newton che la dimostrò con una serie di esperienze esattissime, e che erano una la conferma dell'altra. Cominciamo dall'osservare l'ineguale *refran-*

gibilità dei diversi colori. A tal effetto, basta guardare a traverso dell' angolo refrangente d' un prisma retto di vetro, ben pulito, una striscia di carta orizzontale, colorata metà di rosso e metà di turchino. Se il vertice dell'angolo refrangente del prisma è in alto, si vedrà che la porzione turchina della striscia è più alta della porzione rossa. Per comprendere che questa separazione è una conseguenza della diseguale refrangibilità dei due colori, bisogna osservare l' andamento d' ognuno. Sia CAB (*fig.* 335) la sezione verticale del prisma, A il suo angolo refrangente, cioè l' angolo a traverso delle facce del quale passa la luce. Sia SI un raggio partito dalla striscia rossa: esso nell' entrare nel prisma proverà una refrazione, per cui si avvicinerà alla perpendicolare NN', giacchè passa dall'aria nel vetro; e in I' si allontanerà dalla perpendicolare, e anderà per la direzione I'O; sicchè l'occhio situato in O crederà di veder l'oggetto in S'; ed è chiaro, che lo spostamento dell' oggetto sarà tanto maggiore, quanto maggiore sarà la refrazione. Se dunque il color turchino si refrange più del color rosso, la striscia turchina dovrà comparire più alta come accade infatti.

471. La conseguenza che naturalmente si deduce da questa esperienza, è evidente: se la luce bianca è composta di raggi disegualmente refrangibili, essi si separeranno a traverso del prisma, e resterà dimostrata la scomposizione della luce solare.

Per verificare questa esperienza, si faccia nell'imposta d'una camera oscura una piccola apertura di 2^{mm} di diametro; si ponga un prisma sul passaggio d' un fascio solare SI (*fig.* 336), e in tal situazione che il suo asse sia perpendicolare alla direzione del fascio; e si osserverà che l'imagine ricevuta sul cartone MN è molto ingrandita nel senso MN, perchè la refrazione del prisma accade in maniera, che è terminata da due linee rette e da due archi di circolo; che il violetto è il colore più refrangibile; che il rosso è meno refrangibile di tutti; e che l' ordine di refrangibilità è il seguente: violetto, indaco, turchino, verde, giallo, arancio e rosso. Questa imagine si chiama *spettro solare*.

Chiara è la causa della forma dell' imagine; infatti tutti i raggi rossi del fascio, avendo una stessa refrangibilità, debbon formare un' imagine rossa circolare, e lo stesso deve accadere dei raggi aranci, ec.; e tutte queste diverse imagini sovrapposte, hanno i loro centri sopra una stessa linea retta perpendicolare alla direzione del prisma. Lo spettro che resulta dalla riunione di tutte queste imagini, deve dunque esser terminato lateralmente da due linee rette parallele, e alle sue due estremità superiore e inferiore, da due archi di circolo, mentre se la luce fosse tutta egualmente refrangibile, lo spettro si presenterebbe sotto l' aspetto di un' imagine circolare, che sarebbe spostata per effetto della refra-

zione, ma che non sarebbe alterata in verun conto nelle sue dimensioni. Supponiamo infatti che in una certa situazione l'angolo PIA (*fig.* 337) sia eguale all'angolo BE'O; in tal caso gli angoli CIE e CE'I', complementi degli angoli di refrazione, sono parimente eguali; e quindi eguali pure sono gli angoli CI'E' e CEI; dunque sarà QI'A=OEB, e quindi QI'A—PI'A=OEB—OE'B: ma OEB—OE'B=EOE', angolo sotto il quale si scorge l'oggetto PQ a traverso del prisma, e QI'A—PIA=PIIQ, angolo sotto il quale si scorge senza l'interposizione del prisma: ora questi due angoli sono eguali; dunque la grandezza dell'oggetto non sarebbe cambiata dal prisma, se tutti i raggi avessero la stessa refrangibilità.

472. Con un'esperienza sintetica si può confermare l'analisi precedente. Si riceva lo spettro solare ad una certa distanza dal prisma sopra una lente convergente, e si vedrà che l'imagine prodotta nel suo fuoco è perfettamente bianca.

I raggi che appartengono a ciascun circolo, son tutti egualmente refrangibili, poichè la refrazione a traverso di uno, due e anco tre prismi, non accresce in verun conto il numero dei fasci; ogni colore resta lo stesso, e solamente il più refrangibile è il più deviato. Così se si riceve lo spettro verticale prodotto dal passaggio d'un raggio solare a traverso d'un prisma orizzontale, sopra un secondo prisma verticale, si otterrà uno spettro obliquo, di cui la parte violetta sarà la più slontanata.

La *fig.* 338 indica la situazione della seconda imagine relativamente alla prima. Se il secondo prisma è perfettamente eguale al primo e inclinato sulla luce incidente nella stessa maniera, il suo effetto sopra ognuno dei raggi sarà necessariamente eguale a quello del primo prisma; dal che segue che l'estremità R' della nuova imagine sarà tanto slontanata dall'estremità R della prima, quanto questa dall'imagine diretta C. Sarà dunque RR'=RC, come pure VV'=VC. Il triangolo VV'C è isoscele, e la seconda imagine è inclinata sulla prima 45°. Tutto ciò è conforme all'esperienza.

473. La disposizione dei colori nello spettro solare, nel quale si vede il verde fra il giallo e il turchino, e l'arancio fra il rosso e il giallo; il riflettere che nelle arti si mescola il giallo e il turchino per ottenere il verde, e l'arancio si forma unendo il rosso col giallo, aveva fatto pensare ad alcuni dotti, che l'arancio e il verde dello spettro fossero formati dalla soprapposizione dei due colori, fra i quali ciascuno di questi colori si trova situato nello spettro. È vero che se con una lente si riuniscano il giallo e il rosso dello spettro, si ha l'arancio, e che nella stessa maniera si ottiene il verde unendo il giallo col turchino: ma fra questo verde e questo arancio, e le medesime tinte formate immediatamente

dallo spettro, passa questa differenza essenziale, che questi colori naturali sono assolutamente inalterabili e indivisibili, mentre il verde e l'arancio artificiali son divisi dal prisma nei loro colori elementari.

474. Ciò che abbiamo detto serve ancora a spiegare l'apparenza presentata dagli oggetti bianchi, veduti a traverso del prisma. Infatti se con un prisma che abbia l'angolo refrangente in alto, e l'asse orizzontale, si esamini una striscia sottilissima di carta bianca, ne vedremo l'imagine più alta dell'oggetto (*fig.* 335), i raggi più refrangibili saranno i più deviati, e così si scorgerà uno spettro, del quale la parte superiore sarà violetta, e l'inferiore sarà rossa, e gli altri colori saranno disposti al solito. In un foglio di carta largo alcuni pollici, adoprato invece d'una striscia elementare, la parte superiore presenterà sempre il violetto, e l'inferiore il rosso, mentre il mezzo non presenterà che il bianco. L'orlo superiore della striscia presenterà uno spettro, come pure tutte le striscie elementari di cui è composto il foglio; la parte violetta della striscia superiore sarà perfettamente isolata, come pure la parte rossa della striscia inferiore; il violetto della seconda striscia potrà mescolarsi col rosso della prima, e così di seguito, sicchè non dovrà scorgersi che il bianco, resultante dalla mescolanza di tutti i colori.

Diseguale reflessibilità dei raggi

475. Per conoscere la diseguale reflessibilità dei diversi raggi, Newton faceva cadere un fascio di luce solare, in una camera oscura, perpendicolare sulla faccia AC d'un primo prisma BAC, di cui gli angoli C e B erano di 45° (*fig.* 339); il fascio seguiva la sua strada in linea retta fino in I; là una porzione reflessa andava ad urtare la faccia AB parimente in una direzione perpendicolare; questo raggio andava ad incontrare un secondo prisma PNQ; e poichè l'incidenza era obliqua alla faccia d'ingresso NP, accadeva dispersione, e lo spettro rigettato verso la base andava a dipingersi in R'V' sopra un cartone opportunamente disposto. Ora facendo girare il prisma ABC in un modo da scemar l'angolo d'incidenza CID, e quindi da accrescere la reflessione sulla faccia AB, osservava che la parte violetta dello spettro R'V' diveniva più intensa, mentre la parte corrispondente dello spettro RV, prodotta sopra un cartone dalla porzione di luce refratta in I, li indeboliva; che lo stesso fatto avea quindi luogo per il color indaco, ec., e che finalmente la luce rossa era l'ultima a reflettersi totalmente in I. Così resta dimostrato, che il violetto, raggio più refrangibile d'ogni altro, è altresì più d'ogni altro reflessibile, e che l'ordine di reflessibi-

lità è lo stesso che quello di refrangibilità (*Vedi* l'ottica di Newton).

Proprietà calorifiche dei raggi

476. Rochon è stato il primo che abbia studiato questo argomento, ed egli fu che fin dal 1775 conobbe che i diversi raggi producono sul termometro diversi gradi di calore (*Recueil de Memoires sur la phys. et mec.*). Questo dotto Fisico fece alcune esperienze, nelle quali un fascio di luce elementare andava ad urtare in un termometro, dopo essersi condensato passando a traverso d'una lente convergente; e così trovò che il raggio rosso ha la proprietà di riscaldare più che qualunque altro raggio, il raggio violetto meno di ogni altro, e relativamente a questa proprietà assegnò il rapporto fra di essi :: 8 : 1.

Questo rapporto però fu trovato dal famoso astronomo Herschell :: 7 : 2. Egli osservò inoltre, che la facoltà di riscaldare aveva lo stesso limite dello spettro dalla parte del raggio violetto; che cresceva progressivamente dal violetto fino al rosso; che essa esisteva anco in raggi insensibili all' occhio, meno refrangibili dei raggi luminosi, e finalmente che aveva la massima attività a un mezzo pollice al di là dei raggi rossi (*Bibl. Brit.* t 15.). Leslie ha ripetute le esperienze già fatte da Rochon e da Herschell, con uno strumento che egli chiama *fotometro* ossia misuratore della luce. Tale strumento (*fig.* 340) è formato come il termometro differerenziale con un tubo di vetro che ha la forma d' un sifone rovesciato, ma con uno dei suoi bracci più lungo, dove è fissata la pallina destinata a misurare gli effetti calorifici, la quale è di smalto nero. Questo piccolo strumento è chiuso sotto una campana di vetro sottilissimo, perchè sia difeso dall' azione delle correnti d'aria ed è utilissimo per questo genere di ricerche, perchè è insensibile alle variazioni della temperatura del mezzo circostante Leslie medesimo ha riconosciuto che il raggio rosso riscalda più del violetto, nel rapporto di 16 : 1; ma non ha potuto rilevare alcun raggio calorifico oscuro al di là dei limiti dello spettro, e in ciò con la sua opinione combina quella di Berard.

Proprietà chimiche dei diversi raggi

477. La luce solare esercita un' azione potente sui fenomeni chimici, come lo prova la necessità della sua presenza per la formazione della materia verde dei vegetabili, e del composto di cloro e d' ossido di carbone, e la sua azione sul cloruro d' argento.

Per analogia si può domandare, se questa proprietà esista nello stesso grado in tutti i raggi. Già Schéell aveva osservato (*Traité chim. de l'aire et du feu* p. 78 e 98), che il raggio violetto produceva, più prontamente di qualunque altro raggio, la riduzione dell'ossido d'argento, e Senevier faceva quindi una simile osservazione, relativamente allo sviluppo della materia verde dei vegetabili. Ma secondo le osservazioni di Wollaston, Ritter e Bockmann, l'azione chimica si estenderebbe anche al di là del raggio violetto, fuori del limite dello spettro. Le quali osservazioni sono pienamente confermate dalle esperienze di Berard, il qualcha esposto a diversi raggi concentrati con una lente convergente, il cloruro d'argento e una mescolanza di cloro e d'idrogene. Per dare un'idea dell'aumento dell'intensità chimica verso la parte violetta, basta dire che il cloruro d'argento tenuto per due ore nella luce rossa così condensata, non soffriva veruna alterazione sensibile, mentre in meno di cinque minuti, si colorava assai vivamente nella parte violetta. Lo stesso Berard ha provata ancora l'esistenza dei raggi chimici invisibili al di là dei raggi violetti. Secondo Arago, i raggi luminosi diretti in modo da produrre oscurità con la loro *interferenza*, come vedremo a suo luogo, non esercitano più alcun' azione chimica.

Proprietà magnetiche

478. Il Morichini professore di Chimica a Roma aveva annunziato nel 1813. (*An des physick.* t. XLVI, *von Gilbert*), che piccole sbarre d'acciaio acquistavano la virtù magnetica per l'azione dei raggi violetti; ma questo resultamento non è stato confermato dal Prof. Configliacchi di Pavia, nè da Berard di Montpellier. Nel 1826 fu annunziato, che la ingegnosa Sommerville esponendo al Sole alcune sbarre d'acciaio, fasciate in parte di nastri di color violetto, le aveva ridotte sensibilmente magnetiche, ec.; ma tali esperienze non sono state fin ora confermate.

Proprietà illuminanti

479. Dalle esperienze di Herschell confermate da più moderne esperienze resulta, che il raggio giallo è dotato della massima chiarezza; e di quasi egual proprietà è dotato il raggio verde, la qual proprietà va quindi scemando fino al violetto, che è il meno chiaro di tutti. Resultamenti poco diversi aveva indicati Newton nella sua Ottica molto tempo prima.

480. Tutte queste osservazioni sulle proprietà dei diversi raggi della luce solare hanno dato luogo a due opinioni. Alcuni pensano che esistano tre sole specie di raggi, dimanierachè lo spettro

dovrebbe considerarsi come la riunione di tre spettri soprapposti. Altri credono, che le azioni chimica e calorifica, negli stessi raggi, sieno riunite a quella prodotta dalla sensazione della luce e dei colori. Secondo la prima opinione, il calore e la luce sarebbero due fluidi diversi, mentre secondo l' altra dovrebbero considerarsi come modificazioni d' uno stesso fluido. Qual delle due opinioni debba adottarsi, non può decidersi nello stato presente delle nostre cognizioni; e in questioni di simil genere bisogna decidere secondo i fatti soltanto, ed aspettare ulteriori progressi della Scienza.

481. Frauenhofer, esaminando lo spettro solare per mezzo di una lente molto acuta, vi ha scoperte molte linee trasverse più brillanti della massa generale dello spettro, e diverse nei diversi colori tanto in numero quanto in intensità. Egli si è assicurato, che nè la natura del prisma, nè il suo angolo refrangente, nè la sua situazione, influivano sull' esistenza di queste linee. Anzi le ha riconosciute ancora nei due fasci provenienti dalla suddivisione d' uno stesso raggio, eseguita da un cristallo dotato della doppia refrazione. Ma si ignora fin qui la causa di queste linee, che prima di Frauenhofer non erano neppur conosciute.

DELLA VISIONE

Struttura dell' Occhio

482. L'occhio è situato in una cavità che si chiama *orbita*: esso ha molte membrane, delle quali le due più esterne gli danno una forma quasi sferica; una di esse, che occupa il fondo dell'occhio, si chiama *sclerotica o cornea opaca*, perchè la sua sostanza è simile alla sostanza del corno; l'altra più sottile e di diametro e d'estensione minore, incassata nella sclerotica, e che forma la parte anteriore dell'occhio, è stata chiamata *cornea trasparente*.

Sulla faccia interna della cornea opaca è una membrana cellulo-vascolare, che contiene una materia colorante molto cupa (*fig.* 341), e si chiama *coroide*; e questa parte dell'organo contribuisce alla chiarezza della visione, assorbendo tutta la luce che cade sulla sua superficie (*a*). Finalmente sulla coroide si trova applicata la *retina*, membrana biancastra, trasparente e sottile, che nell'aquila, nell'avvoltoio, ec., è increspata. In generale si crede che su questa accada la sensazione del vedere.

Verso il punto ove la cornea opaca si unisce alla cornea trasparente, la coroide si stacca e si divide in due lame; la prima, che è anteriore, produce quella corona colorata che si chiama *iride*, la quale nel suo centro ha un'apertura chiamata *pupilla*; la seconda si chiama *corona ciliare*.

L'iride è una riunione di fibre muscolari, le une orbicolari e disposte intorno alla pupilla, e le altre dirette verso il suo centro: queste fibre servono a ristringere la pupilla, per moderare l'impressione d'una luce troppo viva, e a dilatarla per lasciar entrare maggior quantità di una luce debole.

L'iride trattiene i raggi che si allontanano troppo dall'asse: e vantaggiosissima è la sua situazione nell'occhio, perchè lascia entrare una quantità maggiore di luce, di quello che se fosse situata nella cornea trasparente; poichè l'umore acqueo facendo convergere i raggi luminosi, obbliga ad entrar nella pupilla alcuni raggi che anderebbero a cadere sull'iride, se non si refrangessero in questo umore, o se l'iride fosse situata nella cornea trasparente.

L'iride disposta nell'occhio come un diaframma, indebo-

(*a*) La coroide è di color più cupo presso gli abitanti della zona torrida, che presso i popoli del Settentrione (*Home*). Essa non esiste negli animali ruminanti e negli uccelli notturni.

lisce l'aberrazione di sfericità del cristallino, come vedremo nell' articolo dell'aberrazione; ed è da notarsi che la disposizione degli strati di cui questo è formato, concorre al medesimo fine: ed è stato infatti osservato, che essi acquistano un potere più refrattivo dalla circonferenza al centro, ove esiste il nocciolo più denso e più refrangente.

La corona ciliare tiene incassato un corpo solido diafano IV, il quale ha la forma d'una lente convergente, e che si chiama *cristallino*. Esso è più schiacciato dalla parte anteriore che dalla posteriore, e diviene schiacciato sempre più al crescere dell'età.

La parte anteriore dell'occhio compresa fra la cornea trasparente e il cristallino, è piena d'un liquido trasparente, in apparenza simile all'acqua, e che però è detto *umore acqueo*.

Nella cavità posteriore situata dietro al cristallino, si trova un liquido simile al vetro fuso, e che si chiama *umor vitreo*. AB (*fig.* 341) rappresenta la cornea opaca; CD la cornea trasparente; EF la coroide; HK la retina; I V il cristallino; U l'umore acquo, ed M l'umor vitreo (*a*). Bastino per noi queste indicazioni, lasciando lo studio più particolare dell'occhio all'Anatomico ed al Fisiologo.

Andamento dei raggi nell' occhio

483. Si chiama asse dell' occhio la linea secondo la quale esso si dirige per vedere chiaramente gli oggetti.

L'azione dell'occhio è analoga a quella della riunione di più lenti. Infatti, sia A (*fig.* 342) un punto che tramandi all'occhio raggi luminosi; questi raggi arriveranno sulla cornea trasparente con un certo grado di divergenza, la quale poi scema

(*a*) Ecco i rapporti fra i seni d'incidenza e i seni di refrazione, per il passaggio della luce dall'aria nella sostanza (*An. ch.* t. 11).

Acqua pura.	1,3358
Umore acqueo.	1,3366
Umor vitreo.	1,3394
Inviluppo esterno del cristallino.	1,3767
Centro del cristallino.	1,3990

Per l'umor vitreo, Chossat ha trovato il rapporto 1,338, e secondo il Dott. Wollaston, il rapporto cresce da 1,380 a 1,447 dalla circonferenza al centro del cristallino. Parimente dalle ricerche di Chossat resulta, che la cornea e le faccie del cristallino (occhio di bove) sono segmenti d'ellissoide (*An. ch.* t. 10). E lo stesso osservatore ha trovato, che gli umori dell'occhio degli animali, cioè pesci, quadrupedi e uccelli, debbono avere un potere refrangente sensibilmente maggiore di quello che ha l'uomo (*An. ch.* t. 8, p. 217).

quando essi entrano nell' umore acqueo. Il cristallino è convesso e più refrangente dell' umore acqueo, e quindi farà ravvicinare anco di più i raggi fra loro. Finalmente, siccome l' umor vitreo è meno refrangente del cristallino, e la superficie che riceve i raggi è concava, così tende ad accrescere la loro convergenza. Dunque tutte le parti dell' occhio contribuiscono a far concorrere sulla retina i raggi divergenti, che arrivano dallo stesso punto dell' oggetto.

484. I raggi luminosi venuti da oggetti lontani cadono sulla cornea trasparente, penetrano a traverso dell' umore acqueo, del cristallino e dell' umor vitreo, e vengono a riconcentrarsi sulla retina, ove formano una piccola imagine rovesciata degli oggetti.

Sia AB (*fig.* 343) un oggetto situato davanti all' occhio: dal punto B partiranno raggi, i quali dopo esser passati a traverso delle varie parti dell' occhio, concorreranno in b'; i raggi partiti da A anderanno a riunirsi in a', sicchè l' imagine dell'oggetto sarà rovesciata, come chiaro apparisce anco dalla sola osservazione della figura.

Ma anco direttamente può provarsi questo rovesciamento degli oggetti nel fondo dell' occhio, e questa esperienza riesce facile con un occhio di bove, assottigliandone la cornea opaca. Se ad un occhio fresco e così preparato si presenta un piccolo lume, ponendosi dalla parte posteriore, si vedrà un' imagine rovesciata del lume, dipinta sul fondo dell' occhio. L' osservazione è anco più facile, operando sopra occhi di conigli, come ha fatto Magendie, poichè gli occhi di questi animali sono privi di coroide, e la parte posteriore dell' occhio è moltissimo trasparente.

Chiarezza della visione a distanze diverse

485. Dalla somiglianza che esiste fra l'occhio e una camera ottica, sembra che la possibilità di vedere distintamente gli oggetti a distanze diverse dipenda dalla facoltà di cambiare o la distanza fra il cristallino e la retina, o la curvatura del cristallino e della cornea trasparente, o l' apertura della pupilla.

1.° Alcuni anatomici hanno creduto che l' occhio avesse la facoltà d' allungarsi; ma esaminando bene quest' organo, non vi si trovano i muscoli necessarii per produrre un tale allungamento. Inoltre si dimostra facilmente che un tale allungamento non accade di fatto, poichè in tal caso, a motivo della debole compressibilità degli umori che empion l' occhio, la cornea trasparente e la congiuntiva (1) dovrebbero cambiar di forma: ora esaminando

(1) La *congiuntiva* è diversa dalla cornea trasparente. La con-

col microscopio un'imagine reflessa dall'occhio d'una persona, mentre le vengono presentati due oggetti disegualmente distanti, non si scorge la minima variazione o nella grandezza o nella porzione dell'imagine reflessa, (*Th. Young*, *Olbers*).

Dall'altra parte, se si metta davanti all'occhio un tubo di vetro cilindrico, pieno d'acqua, a contatto con esso con un'estremità, e all'altra chiuso con una lente biconvessa, poichè l'umore acqueo ha la stessa densità dell'acqua, è chiaro che i raggi nel passare dal secondo nel primo, non dovranno provare alcuna deviazione, sicchè il loro andamento sarà indipendente dalla curvatura della cornea trasparente. Questo apparecchio non modifica in nessun conto la formazione dei fuochi dei raggi visuali, poichè non indebolisce la facoltà di vedere a diverse distanze (*Th. Young*).

2.° Esaminiamo la spiegazione che si appoggia sull'ipotesi dell'alterazione del cristallino. È noto che questa lente, disseccata delicatamente, presenta un gran numero di strati sottilissimi. Young ed alcuni altri anatomici ammettendo l'analogia fra il cristallino ed i muscoli, suppongono che ogni strato vicino sia dotato d'una certa contrattibilità; sicchè considerando il cristallino in tal modo, il rigonfiamento che accompagna la contrazione d'un muscolo accrescerebbe la convessità del cristallino, e in conseguenza scemerebbe la distanza focale. E ammessa questa diminuzione della distanza focale, si spiegherebbe la chiarezza della visione a diverse distanze, minori della distanza ordinaria della visione. Ma un'esperienza di questo medesimo Fisico è contraria alla sua congettura. Infatti Young non ha potuto far variare la distanza focale d'un cristallino per mezzo d'una corrente elettrica. Dall'altra parte, ciò che esclude qualunque ipotesi che avesse per base lo spostamento o l'alterazione del cristallino, si è che dalla per-

giuntiva è una membrana che è la continuazione della cute esteriore, la quale soppanna non solo l'interna superficie delle palpebre, ma riveste ancora anteriormente il globo dell'occhio. Questa membrana è sottilissima e trasparente, singolarmente per quella parte che riveste il globo stesso.

In quanto poi all'allungamento dell'occhio, è verissimo che esso non ha luogo, e che effettivamente l'occhio stesso non cambia mai in sferoidale la sua sferica figura: ma è ben vero però, che per la contrazione o estensione di tutti insieme i suoi sei muscoli, può esser trasportato alquanto indietro e in avanti. Ciò accade nell'uomo, e più visibilmente nei quadrupedi e negli uccelli. E non è già che un tal moto dell'occhio faccia sì che questo organo si trovi sensibilmente più vicino o più lontano dall'oggetto, ma per una maggiore o minore espansione della congiuntiva resulta direi quasi che una maggiore o minor superficie dell'organo, secondo il bisogno, vien presentata alla luce, la quale in conseguenza lo urta in quantità più opportuna al fine della visione.

dita di questa parte dell' occhio per l' operazione della cateratta, non resulta la perdita della facoltà di vedere a distanze diverse. Alcuni individui anco privati del cristallino, vedono distintamente ad una certa distanza, come a sette pollici, e anco fino a quattordici, servendosi però d' una lente convergente.

3.° La-Hire ha proposta una spiegazione che ha trovato varii seguaci. Secondo l' opinione di questo dotto Fisico, l' iride col contrarsi può lasciare entrare alcuni raggi più o meno divergenti. Ognuno comprende, che l'apertura della pupilla scemando in estensione, la visione può pur esser distinta, quantunque il fuoco non sia più sulla retina. Dall' altra parte si sa, che nella camera ottica si posson distinguere assai bene gli oggetti anco disegualmente allontanati. La visione può dunque esser distinta, quantunque l' imagine non cada sulla retina esattamente. Questa teoria è appoggiata sopra un' esperienza concludente. Se mettiamo un corpo vicinissimo all' occhio, lo vediamo confusamente; ma distinto poi ci comparisce, se fra esso e l' occhio interponiamo un pezzo di carta forata con piccolo buco. In questo caso la carta che trattiene i raggi, comecchè lontana dall' asse, fa sì che il fuoco non è tanto lontano dalla retina, e l' imagine è meno confusa (1). È ben vero però che per ogni individuo v' è una distanza determinata, alla quale la visione è più distinta: tuttavia, da quanto abbiamo detto si deduce, che per quanto l' occhio sia invariabile, sembra che possa pur godere della facoltà di discernere gli oggetti disegualmente distanti.

4.° Vallèe suppone che i raggi luminosi descrivano nell'umor vitreo certe curve, avvicinandosi all' asse ottico, finchè il loro moto sia parallelo a questo: ma con ciò bisognerebbe supporre una variazione di densità dell' umor vitreo dal cristallino fino ad una certa distanza dalla retina, il che non è fin ora ben provato. Lehot (*Mem. sur la vis.*) ha veduto il fascio luminoso convergere verso l' asse, e quindi allontanarsene, la qual' esperienza è contraria alla teoria di Vallèe (*a*).

Da quanto abbiamo detto resulta, che nello stato attuale della scienza, si trovano obiezioni a qualunque spiegazione sia stata data della visione distinta a diverse distanze, e la più sod-

(1) L' *asse ottico* propriamente è il punto in cui si incrociano nell' occhio tutti i raggi luminosi. Dunque la carta posta fra l' oggetto e l' occhio, serve ad elidere una quantità di raggi, che dispergendosi sulla retina confonderebbero la visione; e quelli che passano per il piccolo foro vi si condensano in certo modo, arrivano direttamente sull' asse ottico, e portano nel fondo dell' occhio distinta e chiara l' imagine dell' oggetto.

(*a*) Lehot propone una nuova teoria della visione, secondo la quale le imagini si formano nell' umor vitreo, ed hanno tre dimensioni.

dislacente è quella proposta da La-Hire. (*Trans. phil.* 1793) (D. Young), e *Journ. des Sav.* 1818 (Dulong).

Unità dell' impressione prodotta nei due occhi

486. Quantunque ogni oggetto che guardiamo abbia la sua imagine in ciascuno dei due occhi, tuttavia non vediamo gli oggetti doppi, perchè con l' esperienza del tatto abbiamo riconosciuto, che un oggetto semplice produceva due imagini dipinte sopra parti simili della retina, sicchè abbiamo associata l' idea dell' unità dell' oggetto col sentimento delle stesse impressioni. Ma quando i due assi ottici non concorrono più verso un medesimo punto, le imagini non cadono più sopra parti corrispondenti della retina, e l' oggetto è visto doppio. Ciò può verificarsi premendo un occhio mentre si guarda un oggetto, nel qual caso l' oggetto comparisce doppio. Questa è la spiegazione che generalmente vien data del fenomeno; ma i fatti seguenti sembrano contrarii alla medesima.

487. Si sa che i nervi ottici, ad una piccola distanza dalla loro origine si riuniscono, e sembrano perfettamente confusi uno con l' altro; e che da questo punto di riunione partono due nervi, uno dei quali termina all' occhio destro e l' altro al sinistro. Questa porzione comune è stata chiamata col nome di *decussazione*, per indicare che i nervi si incrociano per andare ognuno all' occhio della parte opposta a quella della sua origine.

Molti individui sono stati soggetti ad una cecità parziale e momentanea. Ciò appunto accadde a Wollaston più volte, in epoche molto distanti: ad un tratto egli non vedeva che la metà della figura delle persone, e volendo leggere la parola *Johnson* scritta sopra una porta, non vedeva che il *son*; non poteva guardare che a dritta, qualunque fosse l' occhio di cui voleva servirsi; non era perfettamente cieco, ma gli oggetti gli sembravano coperti d' un' ombra intensa, e senza limiti distinti. In un' altra circostanza egli era cieco dalla parte destra.

Nel 1824 Arago si trovò in un caso simile, giacchè della parola *baromètre* non vedeva che la finale *ètre*. Si accorse inoltre che in certe circostanze, l' occhio, senza che si rilevi una differenza distinta fra le sue parti, non è egualmente capace, in tutta la sua estensione, di provare deboli impressioni luminose. Così nel 1822 egli non poteva vedere un Satellite di Saturno, se non dirigendo i suoi sguardi sull' orlo dell' anello più lontano dal Satellite. E anco Richter riporta casi analoghi.

Da questi fatti parrebbe doversi dedurre, che il nervo ottico dritto comunica con la parte dritta di ciascun occhio; per reflessione con l' occhio dritto e direttamente con l' occhio sinistro,

e reciprocamente. Questa opinione emessa da Taylor, da Wollaston ec., è contraria all' opinione comune, e presenta forse una spiegazione soddisfacente dell' unità d' impressione (*fig.* 344).

Uso delle lenti per rimediare ai difetti di vista nei presbiti e nei miopi

Nel parlare delle lenti biconcave e biconvesse (n.° 463) vedemmo come le lenti servono al presbitismo e al miopismo. Facciamo ora alcune osservazioni particolari, ed osserviamo più minutamente alcuni fatti che con questa teoria facilmente si spiegano.

488. Chi fa uso degli occhiali ordinarii non vede distintamente se non gli oggetti situati sull' asse della visione; ma la visione sugli orli è sempre incerta, a motivo delle grandi refrazioni che vi soffrono i raggi.

Son già alcuni anni dacchè alle lenti tanto concave quanto convesse Wollaston sostituì i menischi che chiamò *periscopici*, per mezzo dei quali si vedono distintamente gli oggetti posti obliquissimamente. Se questi debbono far le veci delle lenti convergenti, si fanno della forma A (*fig.* 345), con la maggior curvatura dalla parte anteriore, e della forma A', cioè con la parte anteriore meno curva, se debbon far le veci delle lenti divergenti. Dalla forma di queste lenti periscopiche apparisce, che i raggi obliqui, al par di quelli che arriveranno nella direzione dell' asse, caderanno sotto incidenze quasi normali alle superficie della lente. Questa scoperta di Wollaston è stata adottata, comecchè trovata utile per esperienza (*Bullet. de la Soc. phylom.*, 1813).

489. Mariotte (pag. 406), con un' esperienza facilissima a ripetersi, ha trovato che la retina non è egualmente sensibile in tutta la sua estensione, e di più che insensibile affatto è il punto d' inserzione del nervo ottico. Infatti, se si pongono due oggetti a due piedi in circa di distanza uno dall' altro, e un osservatore se ne allontani a poco a poco, dirigendo l'occhio destro sull' oggetto che è a sinistra, e in faccia al quale egli si trova, alla distanza di nove piedi cesserà di vedere l'altro oggetto, che poi gli ricomparirà se seguita ad allontanarsi (1).

(1) Sarà vero questo fatto indicato da Mariotte, ma non apparisce come esso serva di prova dell' insensibilità della retina nel punto di inserzione del nervo ottico. Questo punto è sicuramente insensibile; ma siccome occupa uno spazio non maggiore d' un capo di spillo comune, così è ben difficile il combinare il fatto citato da quell' osser-

490. **La sensazione prodotta sulla retina ha una certa durata.** Ciò si prova facendo girare un corpo scaldato a rosso: quando esso ha un certo grado di rapidità, l'osservatore crede di vedere una linea circolare rossa: così pure facendo girare un cartone circolare sul quale sieno dipinti i sette colori dello spettro solare, il cartone sembra bianco.

La sensibilità dell'occhio si smussa per la durata e per la repetizione d'una medesima sensazione, sicchè dopo un certo tempo diviene incapace di più percepirla. Per esempio, se dopo aver fissata per lungo tempo la vista sopra un oggetto di color rosso acceso, si porti lo sguardo sopra un cartone bianco, l'occhio divenuto insensibile all'azione del color rosso, non riceverà impressione che dagli altri colori, dimanierachè il cartone bianco gli sembrerà verdastro; ma questa illusione non sarà molto durevole. In generale il colore che l'occhio scorge, è complemento di quello che ha guardato in principio, cioè che riunito con quello, produce il bianco: questo è ciò che s'intende per *colori accidentali.*

Valutazione della distanza

491. Noi giudichiamo della distanza d'un oggetto dall'angolo che fanno i due assi ottici diretti sopra uno stesso punto di questo oggetto. A misura che l'oggetto si avvicina o si allontana, gli occhi cambiano la loro figura e la lor direzione, in modo da far sempre concorrere i due assi ottici verso lo stesso punto dell'oggetto. Col paragonar frequentemente la distanza degli oggetti col moto degli occhi, abbiamo acquistata l'abitudine di giudicare della distanza, decidendone dalle impressioni che accompagnano questi moti. Ma se facciamo uso d'un occhio soltanto, determiniamo le distanze molto imperfettamente: per esempio, con un sol occhio si giunge difficilmente ad infilare un anello sospeso in modo che non se ne possa veder l'apertura. Questo imperfetto giudizio è proprio anco di quelli che sono assolutamente privi d'un occhio da molto tempo (1).

vatore, specialmente avuto riguardo alla forza visiva, diversa nei diversi individui.

(1) Quando fra un oggetto e noi si trovano molti altri oggetti, questa nuova circostanza ancora ci aiuta a valutar la distanza di quest'oggetto, per una specie di somma che facciamo di tutte le distanze degli oggetti intermedii, per comporne una distanza totale; dal che resulta che un oggetto ci sembra più lontano quando nudo è lo spazio che ci separa da quello, e non presenta alcun punto di collegazione che possa servirci a sommare tutte le parti della distanza.

Valutazione della grandezza

492. Si chiama angolo visuale l'angolo A o B (*fig.* 343) formato da due raggi, i quali, partendo dall'estremità d'un oggetto, vengono ad incrociarsi nella pupilla. La considerazione di questo angolo è importante relativamente ai fenomeni della visione. Dietro all'angolo AoB se ne forma un altro *aob*, il quale è formato dagli stessi raggi refratti a traverso degli umori dell'occhio. Questo angolo *aob* sottende l'imagine *ab*, sul fondo dell'occhio, ed è chiaro che esso cresce e scema insieme con AoB.

Si chiama grandezza apparente d'un oggetto l'apertura dell'angolo visuale; dal che si vede che la grandezza reale è costante, mentre la grandezza apparente varia continuamente al variar della distanza. Quindi mentre è necessario il concorso dei due occhi per valutar le distanze, uno solo basta per valutar le grandezze.

Non però dalla sola grandezza apparente giudichiamo della grandezza reale degli oggetti, ma teniamo conto della distanza, perchè le esperienze che abbiamo fatte col soccorso del tatto ci hanno insegnato a valutare esattamente le dimensioni e le distanze degli oggetti. Così una linea di otto metri vista da un metro di distanza, ci sembrerebbe lunga 2 metri soltanto, vista dalla distanza di 4 metri; ma combinando la distanza con la grandezza apparente, giudichiamo giustamente della real grandezza dell'oggetto. Bisogna avvertire però, che quando gli oggetti son lontanissimi, la piccolezza degli angoli visuali e degli angoli formati dagli assi ottici, impedisce i confronti, e giudichiamo della grandezza reale dalla grandezza apparente; e allora gli oggetti ci sembrano più piccoli del vero.

In conferma delle considerazioni precedenti sull' influenza delle abitudini, riporteremo un esempio singolare. Un giovane in età di 13 anni, cieco dalla nascita, al quale Cheselden avea fatta l'operazione della cateratta, credeva che tutti gli oggetti che vedeva fossero a contatto con l'occhio, e non poteva comprendere come i quadri rappresentassero corpi solidi, ec.; e solamente dopo molti mesi d'esperienze potè giudicare delle forme, delle grandezze e delle distanze.

Inganni ottici

493. Un osservatore situato all'estremità d'un lungo viale ornato di due filari paralleli di alberi, li vede convergere al-

l'altra estremità, perchè gl'intervalli fra due alberi corrispondenti sottendono angoli che divengon sempre più piccoli. Per la stessa ragione, quando siamo in un lungo corridore ci sembra che il terreno vada alzandosi e la soffitta si abbassi. Nella stessa maniera si spiega perchè una superficie d'acqua sembra elevarsi per un osservatore situato ad una delle sue estremità, giacchè egli paragona il piano della superficie dell'acqua con un piano orizzontale che passa per l'occhio. Parimente, se ci troviamo al piede d'un'alta torre, essa ci sembra inclinata, perchè paragoniamo la situazione di questa torre con una verticale che passa per l'occhio: così pure un terreno elevato *ac* (*fig.* 346) ci sembra più lungo che se fosse a livello con l'orizzonte: una linea retta lunghissima ci sembra curva; e se ci mettiamo in situazione parallela ad uno dei lati d'un poligono regolare, crediamo questo lato maggiore di quelli che per noi sono obliqui.

Gli astri ci sembrano più piccoli allo zenit che all'orizzonte. Poichè meglio possiamo valutare la distanza degli oggetti posti sulla superficie della Terra, crediamo l'astro più lontano; e perchè esso nel nostro occhio sottende lo stesso angolo in ambedue i casi, così deve sembrarci maggiore sull'orizzonte. Per la stessa ragione le nebbie ci fanno vedere più lontani gli oggetti che in tempo sereno, perchè ce li fanno vedere meno illuminati (1).

(1) Uno degl'inganni ottici più singolari, è quello per cui giudichiamo la Luna quando sorge, più grande che quando è molto elevata sull'orizzonte. Per ben intenderne la ragione bisogna partire dal principio, che noi vediamo il Cielo sotto la forma d' una volta ad arco molto schiacciato. Sia T (*Figura* N. Tav. 13) la metà del globo terrestre sopra l'orizzonte *ux*; sia *uytx* la metà del cerchio che percorre la Luna nel suo moto diurno, e *acgb* la metà corrispondente della curva che termina l'atmosfera, indicata qui per maggior chiarezza anco più estesa del vero: essa è come il limite fin dove si estendono tutte le reflessioni della luce, e quindi al nostro occhio diviene pure come una volta alla quale sembrano attaccati tutti gli astri. Supponiamo un osservatore situato nel punto *o*, e per questo punto conduciamo un piano *pui* parallelo ad *ux*: e poichè la curva della Terra è insensibile, lo spettatore sarà nello stesso caso come se questo piano esistesse realmente, e così nel suo giudizio la volta celeste si ridurrà all'arco *dege* che posa sul medesimo piano; e però egli vedrà i punti estremi *d*, *e* di questa volta molto più lontani del vertice *l* della medesima.

Sia *flh* una sezione di questa volta: poichè gli archi *pa*, *ix* si riguardano come infinitesimi, per la gran lontananza della Luna relativamente a noi, il momento in cui il suo centro arriva in *n* può riguardarsi senza errore sensibile come quello del suo sorgere. Allora lo spettatore la vede sotto l'angolo *por*, e la riferisce in L alla distanza *of*. Quando poi la Luna è arrivata in *z*, cioè al meridiano, lo spet-

Moltissime pur sono le illusioni prodotte dai corpi in moto. In generale, se noi ci muoviamo senza accorgercene, riferiamo i nostri moti in senso contrario ai corpi che ci circondano. Così stando in un vascello che si muove, vediamo gli oggetti circostanti muoversi in senso contrario; e per un inganno dello stesso genere viene attribuito al Sole il moto diurno della Terra: parimente se corriamo verso un oggetto lontanissimo e sensibilmente immobile, ci sembra che questo oggetto corra con noi e seguiti a precederci.

Tale è la teoria della visione ammessa presentemente, quantunque non dissimuliamo che da alcuni Fisici è contraddetta o confutata.

Dell' Arco-baleno

494. L'Arco-baleno, per la varietà e per la magnificenza dei suoi colori, invita naturalmente il fisico a cercare il modo con cui esso si forma.

Questa meteora non apparisce senza due condizioni indispensabili, cioè la presenza del Sole sull'orizzonte, e lo scioglimento d'una nube in pioggia. Inoltre, perchè un osservatore vegga l'arco-baleno, bisogna che volti le spalle al Sole, e che sia situato fra il Sole stesso e il luogo dove cade la pioggia, affinchè la luce diretta non ecclissi la debole luce reflessa che vien dalla nube.

Quasi sempre si scorgono due archi, e ambedue presentano i colori dello spettro solare. Nell'arco interno, cominciando dall'alto, i colori sono in quest'ordine; rosso, arancio, giallo, verde, turchino, indaco, violetto; e nell'esterno l'ordine dei colori è inverso. È raro che si veggano tre archi.

tatore la vede parimente sotto l'angolo $p'or' = par$, ma la riferisce nel punto l, cioè in un punto situato molto più vicino a lui. Quantunque l'imagine della Luna occupi sempre lo stesso spazio nell'occhio dello spettatore, poichè a lui sembra più vicina, così la giudica più piccola quasi nel rapporto di ol ad of, poichè allora i due prodotti che resultano dall'impressione della grandezza combinata con quella della distanza, avendo una quantità comune, che è la prima impressione, sono in qualche modo proporzionali alla seconda; e così noi ci formiamo un'idea delle grandezze reali, deducendole dal rapporto fra le distanze apparenti.

Malebranche, autore di questa spiegazione, indica ancora un'esperienza facilissima per confermarla. Si prenda un vetro affumicato, si ponga davanti all'occhio in modo che ecclissi interamente tutti gli altri oggetti (n.° 486, n. 1), e a traverso di quello si guardi la Luna quando comparisce sull'orizzonte, ed essa ci comparirà della stessa grandezza che sul meridiano.

Prima che si conoscesse la composizione della luce, era impossibile dare una completa spiegazione di un tal fenomeno; quindi questa teoria comincia da Newton. È ben vero però che anco Cartesio ne aveva un' idea molto distinta: infatti egli aveva conosciuto l'andamento dei raggi luminosi nelle gocce di pioggia; avea veduto che fra tutti quei raggi i quali penetrano in queste gocce, quelli soli che nel penetrarvi fanno un certo angolo, possono tornare all' occhio dello spettatore senza indebolirsi: aveva fatto ancora l' esperienza ricevendo, in una camera oscura, i raggi solari sopra un matraccio pieno d'acqua, che egli alzava e abbassava a piacere (*a*).

495. Vediamo ora l' andamento della luce. In queste osservazioni supporremo il Sole ridotto ad un punto. Quì non avremo bisogno di considerare se non ciò che accade nel piano che passa per l' astro, per il centro della goccia e per l' occhio dell' osservatore. Sia un fascio di raggi solari SI (*fig* 347): nel punto I d' incidenza una porzione penetrerà nella goccia, e si refrangerà nella solita maniera: in I' accaderà una nuova separazione, e una porzione escirà, e un' altra si rifletterà, e anderà ad urtare la goccia in I'', e così di seguito. La luce refratta in I'' può incontrar l'occhio dell' osservatore situato in O. Quì si vede che per questo osservatore è totalmente perduta quella luce la quale si è refratta due volte soltanto.

Il raggio emergente in I'' si disperde come quando esce dal prisma, e i due raggi estremi son indicati con I''R, I''V.

L' occhio, nel piano che abbiamo considerato, riceverà una mescolanza di raggi, sicchè la visione sarà confusa, e inoltre l' impressione sarà debole per motivo della dilatazione del fascio, e della perdita che ha fatto la luce nel passare a traverso della goccia. Perchè dunque l' occhio provi una viva sensazione dei diversi colori, bisogna che ogni colore presenti un fascio di raggi non divergenti; ma paralleli alla loro emergeuza; e questi sono quei raggi che si dicono *efficaci*.

496. Quali condizioni si richiedano per la produzione dei raggi efficaci, può apprendersi tanto dall' esperienza, quanto dal calcolo. Per ora vediamo l' esperienza.

Se si fa cadere sopra una goccia sferica d' acqua (*fig.* 348) un certo numero di raggi di luce, e si cerchi l' angolo di deviazione, cioè l' angolo formato dal raggio incidente e il raggio visto dall' osservatore, si troverà che esso è nullo quando l' incidenza è perpendicolare, e che quindi cresce fino a un certo limite d' incidenza, eguale a circa 59° 30' per i raggi

(*a*) Sembra che anco prima di Cartesio fra Teodorico nel 1300 abbia data la spiegazione dell' Arco-baleno.

rossi. Questa deviazione è 42° 1′ 40″ per una sola reflessione interna. E se sotto questo angolo d' incidenza cadono sulla goccia alcuni raggi poco distanti e paralleli, ne esciranno pur paralleli, quantunque la deviazione generale del fascio sia di 42 gradi

Si comprende dunque che l' occhio situato ad una gran distanza dalla goccia non può ricevere impressione che da questi soli raggi, perchè come paralleli si sono conservati egualmente intensi, mentre gli altri si sono indeboliti per effetto della dilatazione.

497. Se si supponga una serie di globetti disposti circolarmente uno accanto all' altro in modo da formar la base d'un cono, del quale il Sole occupi il vertice, un osservatore situato, sull' asse potrà ricevere nel tempo stesso alcuni raggi colorati da tutti questi globetti; e la fascia circolare formata in tal modo, avrà una certa larghezza a motivo dell' apertura della pupilla.

Abbiam trovato di sopra, che di 59° 30′ è l' incidenza che dà luogo alla massima deviazione, nel caso di una sola reflesione interna dei raggi rossi: così troveremmo per la massima deviazione dei raggi violetti 40° 16′, sotto l'incidenza di 58° 40′, ed i colori intermedii darebbero deviazioni fra 42° e 40°.

Dal valore degli angoli di deviazione si deduce perchè la parte inferiore dell' arco è violetta, e la parte superiore è rossa. Per due reflessioni accaderebbe l' opposto; infatti in questo caso gli angoli di deviazione sono 50° 58′ per i raggi rossi, e 54° 9′ per i violetti (*a*).

(a) *Calcolo dell' angolo d' incidenza corrispondente al* massimo o *al* minimo *grado di deviazione*.

Sia un raggio SI (*fig.* 349) che dopo essersi refratto nella goccia d'acqua, prenda in I′ la direzione DA: e chiamando i l' angolo d'incidenza ed r l' angolo di refrazione, sarà l' angolo di deviazione $D = 2r - 2i + 180°$. Infatti la somma dei quattro angoli del quadrilatero CIDI′ è eguale a quattro retti: inoltre gli angoli i e i' sono eguali, a motivo della simmetria della figura (*); e lo stesso è di r ed r': avremo dunque

$$D + 2i + 180° - 2r = 2.180°$$
$$\text{ossia } D = 2r - 2i + 180°$$

Nella *fig.* 350 che rappresenta il caso di due refrazioni separate da una reflessione intermedia, ove ICI″ è doppio di ICI′, avremo

$$D + 2i + 2\,(180 - 2r) = 2.180$$
$$\text{ossia } D = 4r - 2i \;.\;.\;.\;.\; (M)$$

La legge dei valori di D è evidente: dopo n incidenze interne, il valore dell' angolo di deviazione sarà

Da quanto abbiamo detto resulta, che la *fig.* 351 rappresenta fedelmente l'aspetto dell'arco-baleno. Il Sole supposto a distanza infinita, è in S, lo spettatore in O, e la pioggia in vr, $v'r'$.

Si comprende facilmente che l'arco-baleno deve restare immobile, nonostante la continua caduta delle gocce di pioggia, perchè alle gocce cadute succedendo altre che occupano le medesime situazioni, è lo stesso come se le prime restassero immobili.

APPLICAZIONE DELLE FORMOLE TROVATE NELLA NOTA PRECEDENTE

498. 1.° *Due incidenze interne* (*fig.* 350), $n=2$.

$$D=2nr-2i-(n-2)\,180\ .\ .\ .\ (N).$$

Sarebbe troppo lungo sostituire in queste due formole (M) ed (N) i diversi valori dell'angolo d'incidenza i ed i corrispondenti dell'angolo di refrazione r per i sette colori. Più comodo sarà cercare il valore dell'angolo d'incidenza corrispondente al *massimo* o al *minimo* angolo di deviazione. Per trovarlo, bisognerà applicare a ciascuna delle espressioni M ed N le condizioni analitiche del massimo e del minimo, il che si farà eguagliando a zero la differenziale di ciascuna espressione.

L'espressione (M) darà $2dr-di=0$: ma il differenziale di sen $i=l$ sen r, dà $di\cos i=ldr\cos r$.

Sostituendo in quest'ultima a di il suo valore $2dr$, si ha $2\cos i=l\cos r$; e aggiungendo il quadrato di questa equazione al quadrato di sen $i=l$ sen r, si ha

$$\cos^2 i+\text{sen}^2 i=l^2,\ \text{quindi}$$

$$\cos i=+\sqrt{\frac{l^2-1}{3}}$$

Operando nello stesso modo sull'equazione (N), si ha

$$\cos i=+\sqrt{\frac{l^2-1}{n^2-1}}\ (P).$$

Se ad n si sostituiscono successivamente i valori 2, 3, ec. si avranno i valori degli angoli d'incidenza corrispondenti al massimo e al minimo angolo di deviazione, e quindi ai raggi efficaci. Per esempio, per due incidenze interne si farà $n=2$ in (P), ed avremo l'angolo d'incidenza i: dal rapporto di refrazione si avrà r: finalmente mettendo $n=2$ e i valori di i e di r in (N), si avrà D. Nel seguente n.° 498 son riportati i resultamenti di questi calcoli.

(*) O meglio, perchè l'angolo i che fa il raggio di luce SI nell'entrare dall'aria nell'acqua è uguale all'angolo i' che esso fa nell'escire dall'acqua per rientrare nell'aria, supponendosi la goccia d'acqua di figura perfettamente sferica; gli angoli poi r ed r' sono uguali comecchè situati alla base del triangolo isoscele ICI'.

Raggi rossi: $l = \frac{108}{81}$, $i = 59° \, 23' \, 30''$
di qui $r = 40 \;\; 12 \;\; 10$
$D = 42 \;\; 1 \;\; 40$
Raggi violetti $l = \frac{109}{81}$. $i = 58 \;\; 40 \;\; 30$
di qui $r = 39 \;\; 24 \;\; 20$
$D = 40 \;\; 10 \;\; 40$

2.° *Tre incidenze interne* (*fig.* 352), $n = 3$.

Raggi rossi: $l = \frac{108}{81}$, $i = 71° \, 49' \, 55''$
di qui $r = 45 \;\; 26 \;\; 50$
$D = -50 \;\; 58 \;\; 50$
Raggi violetti $l = \frac{109}{81}$, $i = 71 \;\; 26 \;\; 10$
di qui $r = 44 \;\; 47 \;\; 10$
$D = -54 \;\; 9 \;\; 20$

Il segno negativo del valore di D indica che l'angolo ha la sua apertura voltata in senso opposto, come apparisce nella figura.

L'arco prodotto da due incidenze deve essere inferiore, perchè l'angolo di deviazione è minore di quello prodotto da tre incidenze (*fig.* 351).

L'ordine dei colori deve essere inverso, poichè per l'arco interno, la deviazione dei raggi essendo minore di quella dei raggi violetti, è il contrario per l'arco superiore.

Nel terzo arco l'ordine dei colori sarebbe lo stesso che nel primo, e così di seguito.

Larghezza dei due archi

499. La linea SOA (*fig.* 351) può riguardarsi come parallela alla direzione dei raggi solari *Sv* o *Sv'*, per la distanza immensa del Sole dalla Terra; e quindi gli angoli *Aov*, *Aor* sono eguali agli angoli *SvO* e *SrO* come alterni-interni. Dunque la larghezza apparente dell'arco interno è la differenza fra i valori dell'angolo di deviazione per i raggi rossi e violetti, cioè 1° 45':
La larghezza apparente dell'arco esterno è 3° 10':
La distanza apparente fra i due archi è 8° 37'.

Tali dovrebbero essere effettivamente le dimensioni e le distanze dei due archi, se il Sole non fosse che un punto. Ma siccome esso ha un diametro apparente di 30' in circa, così se noi consideriamo gli archi che abbiamo determinati di sopra, come formati dai raggi emanati dal centro del disco solare, i raggi emanati dagli orli o dall'interno formeranno altrettanti archi simili; se non che l'asse d'ognuno di questi nuovi archi sarà una

linea condotta dall' osservatore al punto del disco dal quale saranno emanati; dimanierachè al di sopra e al disotto degli archi precedenti, esisteranno archi larghi 15'. Così la larghezza di questi archi sarà accresciuta di 30', e quindi l'arco intero sarà largo 2° 15'; quella dell' arco esterno sarà 3° 40'; e finalmente la distanza dei due archi sarà ridotta a 8° 27'.

La soprapposizione di questi archi parziali deve rendere i colori meno distinti; e in fatti essi non sono mai tanto decisi quanto sugli orli, ove non ha luogo alcuna mescolanza. Aggiungeremo infine, che l'osservazione conferma queste dimensioni determinate col calcolo.

500. La parte visibile dell'arco non è sempre la stessa. Quando il Sole è sull' orizzonte, l'arco apparisce in forma di semicircolo, e a misura che il Sole si alza, l'asse della visione, che è nel tempo stesso l' asse del cono formato dai raggi efficaci, si abbassa, sicchè l'arco va scemando: finalmente l'arco interno sparisce, quando il Sole è a 42° sopra l'orizzonte; e l'arco esterno non cessa d'esser visibile, se non quando il Sole è alto 54.°

Si comprende ancora facilmente, che un osservatore situato sopra un'eminenza, quando il Sole è all'orizzonte, può scorgere ancora un circolo intero.

DEI PRINCIPALI STRUMENTI OTTICI

501 Lo studio degli Strumenti ottici, se non presenta nuovi principii di ottica, è sicuramente in qualche modo un' applicazione delle proprietà degli specchi e delle lenti. Questi strumenti sono di tre specie: *prima*, strumenti diottrici, composti di lenti; *seconda*, strumenti catadiottrici, composti di lenti e di specchi; *terza*, strumenti catottrici, fondati sulla sola reflessione della luce, composti di specchi.

Microscopio semplice

502. Molti oggetti situati all' ordinaria distanza della visione distinta, sfuggirebbero per la loro piccolezza al più attento osservatore; e la debole luce che tramanderebbero, non produrebbe nell' occhio una sufficiente impressione. V' era dunque bisogno, specialmente per il naturalista, d' uno strumento che ingrandisse questi piccoli oggetti, e a questo fine appunto serve il microscopio semplice.

Sia un piccolo oggetto ab (*fig* 353): perchè la sua luce potesse produrre un' impressione sensibile nel fondo dell' occhio, dovrebbe esser posto vicinissimo all' occhio stesso; ma allora i raggi luminosi emanati da ciascun punto dell' oggetto sarebbero troppo divergenti, e quindi non avendo sulla retina il loro punto di concorso, l' imagine sarebbe totalmente confusa. A ciò si rimedia col porre fra l' occhio e l' oggetto una lente convergente, dalla quale i raggi acquistano quel grado di divergenza che conviene alla visione distinta. L' osservatore infatti, ricevendo la luce sotto la stessa inclinazione sotto la quale la riceverebbe da un oggetto $a'b'$, situato alla distanza ordinaria della visione, crederà vedere un oggetto $a'b'$. Dunque il microscopio semplice serve a far vedere gli oggetti situati a piccolissima distanza, e inoltre anco ne ingrandisce l' imagine nel rapporto di ab ad $a'b'$, o di od ad oD, ossia quasi nel rapporto della sua principal distanza focale alla distanza a cui l' occhio scorge distintamente gli oggetti.

Rischiariamo alquanto quest' idea. La linea od non è a tutto rigore la principal distanza focale, ma ben piccola è la differenza, poichè in virtù della piccolissima estensione che ha l' apertura della pupilla, i raggi penetrano con una divergenza che molto si avvicina al parallelismo. Anco oD è un poco mi-

nore della distanza della visione distinta, ossia 22 centimetri, poichè l'occhio è situato dietro alla lente.

È facile procurarsi qualche microscopio per i piccoli oggetti: per es. se con uno spillo si faccia un piccolissimo foro in una foglia metallica, e vi si introduca una goccia d'acqua, questa formerà da ambedue le parti due convessità sensibilmente sferiche, e quindi sarà un microscopio. È ben vero però che lenti di questo genere si dissipano ben presto a motivo dell' evaporazione. Brewster propose di adoprare una vernice trasparente in vece d'acqua, ma anco questa sostanza si conserva poco senza alterarsi. Meno alterabili ed egualmente facili a costruirsi sono i microscopii proposti da Sivright d'Edimburgo (*An. ch.* t. 11). In foglie di platino, grosse quanto le comuni foglie di stagnola, si fanno piccoli fori, che abbiano un diametro fra $\frac{1}{50}$ e $\frac{1}{10}$ di pollice, e in esse si colano piccoli globetti di vetro fuso per mezzo della lucerna.

Del resto, di queste specie di microscopii formati con gocce di liquidi introdotte in fori fatti in lastre metalliche, parlava anco Lacaille nella sua Ottica, ed altri autori anco più antichi di lui.

Microscopio solare

503. Il microscopio solare è formato d'uno specchio e di due lenti convergenti (*fig.* 354). Lo specchio *pq*, e la lente *mn* son fissati all'imposta di una finestra in una camera oscura; e lo specchio piano deve esser mobile per poter far arrivare la luce parallelamente all'asse della lente *mn*. Invece di questo specchio sarebbe anco più comodo un Elioslata (n.° 585).

Lo specchio piano metallico *pq* è destinato alla reflessione della luce solare. La luce reflessa da questo è concentrata sull'oggetto *ab* per mezzo della prima lente *mn*, nel fuoco della quale deve esser situato questo oggetto, per ricevere la maggior possibile quantità di luce. Così vivamente illuminato, si trova in faccia ad un'altra lente SH: un poco al di qua del fuoco principale F, i fasci divergenti dall'oggetto son concentrati da questa lente, e sopra un cartone convenientemente situato portano un'imagine *a'b'* distinta e ingrandita dell'oggetto *ab*; la qual'imagine può rendersi chiara a piacere trasportando opportunamente il cartone che a tal fine è mobile. L'imagine poi sarà tanto più grande, quanto l'oggetto sarà più vicino al fuoco principale, chè però non oltrepasserà giammai, perchè al di là di esso non si produrrebbe verun'imagine.

Qui abbiamo supposto che l'oggetto sia trasparente, ma se fosse opaco, bisognerebbe illuminarlo per parte.

Megascopio

504. Il megascopio, proposto da Charles non differisce dal microscopio solare, se non in quanto che esso è destinato all'esame di oggetti di dimensioni molto grandi, mentre il microscopio serve specialmente allo studio di piccoli oggetti.

Si ponga in *ab* (*fig.* 355) un poco al di là del fuoco principale d'una lente convergente, un oggetto rovesciato, si illumini questo oggetto con uno o più specchi, si disponga nella camera oscura un cartone o un vetro appannato, e si vedrà su questo dipinto l'oggetto in situazione naturale; e qui pure si potrà ingrandire l'imagine a piacere, avvicinando l'oggetto *ab* alla lente, senza però oltrepassare il fuoco principale F.

Con questo strumento può ingrandirsi l'imagine d'un oggetto da 1 fino a 20 volte; quindi è che può riescire utilissimo in alcuni generi di ricerche, come utilmente appunto se ne servì Chossat per determinare le curva di alcune parti dell'occhio.

La *Lanterna magica* è poco diversa dal megascopio: in quella gli oggetti sono illuminati per mezzo di lumi artificiali, e l'insieme dell'apparecchio è tutto portatile.

La *Fantasmagoria* è una lanterna magica, ove si avvicinano e si allontano gli oggetti dalla lente convergente, in modo da far variare la grandezza dell'imagine; e nello stesso modo si produce l'effetto dell'allontanamento e del ravvicinamento. Perchè l'illusione fosse perfetta, bisognerebbe che variasse ancora l'intensità della luce.

Camera ottica

505. L'andamento della luce nella camera ottica è lo stesso che nei due strumenti descritti di sopra.

Una camera ottica è formata d'una cassa di legno, alla quale si adatta una lente convergente (*fig.* 356): gli oggetti esterni vengono a dipingersi nel fondo della camera, in situazione rovesciata, e di dimensioni piccolissime in paragone delle dimensioni reali. Poichè la camera ottica serve specialmente all'arte del disegno, si addirizzano le imagini ricevendole sopra uno specchio piano *mn* inclinato 45°: allora l'imagine è in $a''b''$ sopra un vetro appannato, sicchè un osservatore che ha l'occhio diretto verso *ab*, vede quest' imagine in una situazione diritta. In vece d'una lente biconvessa si possono adoprar lenti concave verso gli oggetti, e convesse verso l'imagine, la qual

forma di lenti, proposta da Wollaston, produce imagini più distinte.

Forse più vantaggiosa è la nuova disposizione data alla camera ottica da Vincenzo Chevalier, e che io stesso ho veduta. In essa (*fig.* 357) in vece della lente e dello specchio è un prisma convesso-concavo, con la parte convessa voltata verso gli oggetti, e con la parte concava, che fa con l'altra un angolo retto, voltata verso la carta sulla quale va a dipingersi l'imagine

Microscopio composto

506. Il microscopio composto è formato di una prima lente *mn* voltata verso l'oggetto, detta lente oggettiva, o semplicemente *oggettivo* e di una seconda lente PR posta vicino all'occhio, e che quindi è stata detta *oculare;* e nel più semplice di questi apparecchi si trovano sempre queste due lenti. Osserviamo prima l'andamento della luce nel microscopio composto, e poi indicheremo alcune disposizioni particolari suggerite dalla pratica.

Sia *ba* (*fig.* 358) un piccolo oggetto posto davanti alla lente *mn*, al di là del fuoco F dei raggi paralleli: questo oggetto prodnrrà un'imagine rovesciata in $a'b'$ tanto più grande, quanto più vicino ad F sarà l'oggetto, la quale potrà riceversi sopra un vetro appannato o sopra una tela: ma può ingrandirsi ancora per mezzo d'un oculare, che non è altro se non una piccola lente; dimanierachè l'oggetto in tal modo è ingrandito dall'oggettivo e dall'oculare. Avremo dunqne

$$ab : a'b' :: oc : co', \text{ e}$$
$$a'b' = \frac{ab \times co'}{oc}$$

Questo è l'ingrandimento prodotto dall'oggettivo. Ma abbiamo detto che esso sarà tanto maggiore, quanto più vicino ad F sarà *ab*: infatti quanto più *ab* è vicino ad F, tanto maggiore è la distanza co' del fuoco coniugato L'imagine $a'b'$ veduta a traverso dell'oculare, sarà ingrandita nel rapporto di $o'k$, che è sensibilmente la principal distanza focale di questo oculare, a *kl*, distanza della visione chiara e distinta: dunque $a'b' : a''b'' :: ko' : kl$, e di qui

$$a''b'' = \frac{a'b' \times kl}{ko'} \text{ oppure}$$
$$a''b'' = \frac{co' \times kl}{co \times ko'} \times ab.$$

L'ingrandimento è tanto maggiore, quanto più corto è il

fuoco dell' oggettivo e dell' oculare; ma questo ingrandimento ha un limite, a motivo della difficoltà di costruire regolarmente lenti piccolissime, e della necessità di mantenere all' oculare sufficienti dimensioni. Il campo del microscopio composto, cioè lo spazio che la visione può abbracciare a traverso delle lenti che lo compongono, si trova limitato dai raggi che incontrano gli orli dell' oculare.

507. Il microscopio è generalmente composto di tre tubi, incastrati uno nell' altro (*fig.* 359). Al tubo superiore AB è fissato l' oculare PR: questo tubo, che si chiama il *porta-oculare*, striscia a incastro in CD, e questo può strisciare in un tubo più largo FH, in fondo al quale è fissato l' oggettivo *mn*, e però si chiama *porta oggettivo*. In IK si dispone un diaframma circolare di noto diametro. Si fa muovere il porta-oculare finchè si veda con molta chiarezza il diaframma, che allora è situato nel punto, in cui dovranno dalla refrazione esser ridotte le imagini degli oggetti che si vogliono osservare. Davanti all' oggettivo è un anello circolare, che è doppio, e nel quale è incassata una lastra di vetro ST, e su questa si pone l' oggetto. Lo strumento poi è costruito in tal modo, che l' anello dell' oggettivo può avvicinarsi o allontanarsi a piacere.

508. L' ingrandimento del microscopio si determina nel modo seguente. Si striscia fra le due parti dell' anello una lastra di vetro con piccolissime divisioni, e si introduce finchè sia vista con chiarezza: allora l' imagine è compresa nel diaframma IK. Sia *n* il numero di divisioni della lastra di vetro, che per effetto dell' azione della lente basta per coprire il diametro del diaframma; sia *m* il numero di divisioni dello stesso valore contenute realmente in questo diametro; l' ingrandimento sarà $\frac{m}{n}$. In quanto poi all' ingrandimento dell' oculare, potrà calcolarsi nel modo da noi indicato al principio di questo articolo.

È necessario illuminar bene gli oggetti che si vogliono osservare: se sono trasparenti, si illuminano per la parte inferiore per mezzo d' uno specchio concavo V, e se sono opachi, si illuminano per la parte superiore; e in tutti i casi, uno specchio concavo V' forato al di sotto della lente *mn*, e precisamente nel suo centro, tramanda la luce sugli oggetti. Vedremo in seguito la descrizione d' un microscopio catadiottrico. Del resto, lo strumento descritto fin qui è il più semplice fra tutti i microscopii composti.

509. I microscopii più in uso presentemente sono a tre lenti. Senza la lente intermedia *m'n'* (*fig* 360), l' imagine prodotta dall' oggettivo *mn* verrebbe a riunirsi in *a'b'*, mentre per mezzo di quella viene a riconcentrarsi in *a''b''*. Per mezzo poi dell' ocula-

re essa è vista in a''' b''', ed è rovesciata come nel microscopio a due lenti. Delbarre ha costruiti alcuni microscopii, gli oculari dei quali eran composti di cinque lenti.

Selligues presentò all' Accademia di Parigi un microscopio, l' oggettivo del quale è composto di quattro lenti acromatiche (1) doppie soprapposte, e nel quale gli oggetti sono illuminati per mezzo d' un prisma convesso. Chevalier ne ha presentato un altro alla Società d' incoraggimento, costruito secondo i dati d'Euler, cioè con una lente acromatica doppia, e un oculare parimente doppio. E siccome per considerevoli ingrandimenti sarebbe difficile costruire lenti acromatiche di cortissimo fuoco, lo stesso Chevalier soprappone due lenti di quattro linee di fuoco, il che equivale ad una lente di due linee di fuoco.

Il celebre Professore Amici di Modena ha costruito un microscopio, l' oggettivo del quale è formato di due lenti acromatiche triple, capace di grande apertura; e questo strumento ha tal forza d' ingrandimento, che con esso si scorge il moto del sugo della Cara Sicuramente non v'è alcun microscopio paragonabile con questo.

510. Brewster si è servito del microscopio composto per misurare gl' indici di refrazione di molte sostanze liquide e di alcune semi-solide, come la cera, ec (*a*). Nell' usar questo metodo, 1.° egli pone davanti all'oggettivo un vetro piano sottilissimo, e dispone lo strumento in modo da veder distintamente il micrometro: 2.° fra la lente e il vetro piano introduce la sostanza della quale vuol conoscere l'indice di refrazione; e se la sostanza è solida, preme il vetro piano contro la lente. Le sostanze che nello stato ordinario hanno poca trasparenza, come il caoutchouc, l'assa fetida (2) ec., ridotte in strati sottilissimi divengono tanto tra-

(1) Si chiama lente *acromatica* quella che è formata di due lenti di vetro diverso, per togliere agli oggetti che si osservano i colori dell' iride.

(*a*) Euler aveva già pensato al mezzo di misurare i poteri refrattivi delle sostanze trasparenti fluide, chiudendole fra due menischi, e determinando la distanza focale della lente composta in tal modo. Questo metodo fu poi messo in pratica dal figlio di quel celebre Geometra.

(2) Il *caoutchouc*, volgarmente detto *gomma elastica*, ma impropriamente, perchè ha tutte le proprietà della resina, è una sostanza bituminosa distinta da tutte le altre, per una vera elasticità. Fu trovato in Inghilterra nel Derbyshire nel 1758, ed è assai raro e poco conosciuto, non essendosi trovato che in quel paese, nelle fessure di uno schisto argilloso.

L'*assa fetida* è una gomma resina, di color giallo rossiccio: vien trasportata dalla Persia, e si trae da una pianta chiamata da Linneo *ferula assa foetida*.

sparenti, da presentare imagini chiarissime. L'interposizione della sostanza accresce necessariamente la distanza alla quale si forma l'imagine dietro alla lente; sicchè se si lascia il micrometro nello stesso punto, bisogna allungare il tubo del microscopio, oppure se si conserva al microscopio la stessa lunghezza, bisogna accrescere la distanza dell'oggetto. Il valore di questo allungamento dipende dalla natura della sostanza e dalla curvatura della lente. In queste esperienze Brewster lascia il microscopio in una situazione costante, bastando solo variare la distanza dell'oggetto. Questo apparecchio è rappresentato dalla *fig.* 361. Anco Cauchois ha fatti alcuni esperimenti con l'apparecchio di Brewster, ed i resultamenti che ne ha ottenuti sono stati perfettamente concordi con quelli ottenuti con altri metodi.

Canocchiale astronomico

511. Il canocchiale astronomico è il più semplice di tutti i canocchiali: esso, come il microscopio composto, è formato di due lenti (*fig.* 362), cioè un oggettivo ed un oculare, se non che in questo canocchiale l'oggettivo ha un fuoco lunghissimo, al contrario del microscopio Esso è detto *astronomico*, perchè è destinato unicamente all'esame dei corpi celesti, e di esso infatti si servono gli astronomi nelle loro osservazioni ordinarie.

Sia PS un oggetto lontanissimo: esso anderà a formare un' imagine rovesciata S'P' nel fuoco principale dell'oggettivo A, poichè per la gran distanza dei corpi celesti, e per la piccolezza dell'apertura del canocchiale, i raggi luminosi che partiranno da uno stesso punto dell'oggetto, saranno quasi paralleli.

L'imagine P'S' si trova nel fuoco dell'oculare, dimanierachè l'occhio situato in O, punto di concorso dei fasci S'N, P'M vedrà l'astro rovesciato.

Vediamo ora come si possa determinare l'ingrandimento del canocchiale, o il rapporto fra l'angolo sotto il quale l'oggetto è visto dall'occhio nudo, e l'angolo sotto il quale si vede per mezzo di questo canocchiale. A occhio nudo si vede l'oggetto SP sotto l'angolo SAP=S'AP'; e per mezzo del canocchiale si vede sotto l'angolo NOM=S'CP'. Questi due angoli sono eguali, perchè l'imagine S'P' è nel fuoco della lente MN, e perchè i due fasci S'N, P'M sono sensibilmente paralleli all'asse. Questi due fasci, dopo esser passati a traverso dell'oculare, anderanno ad incrociarsi nel fuoco principale, dal che resulta l'eguaglianza dei due triangoli CS'P', NOM, e in conseguenza quella degli angoli NOM, S'CP'.

Gli angoli S'AQ' ed S'CQ', che sono la metà degli angoli S'AP' ed S'CP', sono come le loro tangenti $\frac{S'Q'}{AQ'}$, ed $\frac{S'Q'}{CQ'}$, ossia come CQ' ad AQ'; ma CQ' ed AQ' sono le principali distanze focali dell'oculare e dell'oggettivo; quindi la grandezza dell'oggetto visto a occhio nudo, sta alla grandezza del medesimo visto col canocchiale, come la distanza focale dell'oculare sta alla distanza focale dell'oggettivo.

Se l'oculare è opportunamente situato per una buona vista, dovrà avvicinarsi all'oggettivo per una vista *corta*, per render divergenti i raggi che entrano nell'occhio sensibilmente paralleli; e per la ragione opposta dovrà allontanarsi dal medesimo per una vista *lunga*.

L'ingrandimento è tanto maggiore, quanto minore è la distanza focale dell'oculare; ma questo ingrandimento ha un limite per molte ragioni, e fra le altre, perchè quanto più cresce un tale ingrandimento, tanto meno brillanti sono le imagini.

Nel fuoco dell'oggettivo si pongono ordinariamente tre o cinque fili di tela di ragno verticali, o anco d'argento o di platino, ma sottilissimi, tutti egualmente distanti fra loro, e attraversati nel mezzo da un filo orizzontale La lastra di metallo sulla quale son situati questi fili è mobile (*fig.* 363), affinchè possa sempre ridursi il centro O dei fili nell'asse ottico. Questo apparecchio è necessario agli astronomi, per osservare il passaggio degli astri sul meridiano, quando nel meridiano stesso è situato il canocchiale.

Talvolta ancora si mette nel fuoco un filo che si muove parallelamente al filo orizzontale per mezzo di una vite. Questo apparecchio che si chiama *micrometro*, serve a misurare il diametro degli astri, per mezzo dello slontanamento dei due fili paralleli.

Canocchiale terrestre o a quattro lenti.

512. Poichè il canocchiale astronomico fa vedere gli oggetti rovesciati, il che poco importa in questo genere d'osservazioni, non può servire per osservare gli oggetti terrestri. Per questi si addirizza l'imagine aggiungendo due altre lenti (*fig.* 364).

Un oggetto SP osservato con un canocchiale astronomico, presenterebbe un'imagine rovesciata P'S', che l'occhio scorgerebbe in O sotto l'angolo O, o sotto C eguale ad esso. Si aggiungono due altre lenti B ed E; e la lente E è disposta in modo, che il punto O ne occupa il fuoco, nel qual caso i due fasci luminosi

che partono dal fuoco esciranno parallelamente all'asse: ma poichè i raggi che compongono ciascun fascio son paralleli, dovranno escir convergenti, concorrere nel fuoco K, e presentare un' imagine addirizzata P″S″, la quale si guarda con un oculare.

Le quattro lenti son collocate in un tubo compostodi tre parti mobili; l' oggettivo e l' oculare sono ciascuno in un tubo separato, e le due lenti intermedie C ed E sono collegate in un tubo solo. Anco dalla sola osservazione della figura si rileva la necessità di una tal disposizione (1).

E primieramente si vede, che la prima imagine deve esser situata nel fuoco della lente C, la quale però deve esser mobile, perchè l'imagine sarà tanto più vicina all'oggettivo, quanto l'oggetto sarà più lontano; inoltre, poichè il punto d'incrociamento dei fasci in O è il fuoco comune delle lenti E e C, queste sono necessariamente collegate insieme. Se la distanza della visione distinta fosse la stessa per tutti gli uomini, l'oculare potrebbe esser collegato con le lenti E e C; ma la vista essendo diseguale nei diversi individui, è necessario che la lente B possa essere avvicinata o allontanata dall'imagine S″P″.

Calcoliamo l'ingrandimento del canocchiale terrestre. A occhio nudo l'oggetto si vedrebbe sotto l'angolo SAP o S'AP'; per effetto della seconda lente si vede sotto l' angolo VOU o S'CP'. Dunque l' ingrandimento per effetto delle due prime lenti sarà nel rapporto di questi angoli; sicchè chiamando A l'angolo SAP, e C l' angolo S'CP' o il suo eguale VOU, avremo come nel numero precedente, $C = A \times \frac{AQ'}{CQ'}$; ma P″E S″ è eguale all'angolo NOM o VOU, e poichè in fine l' imagine si vede sotto l'angolo D, o sotto il suo eguale B, bisogna cercare il valore di quest'ultimo, che si ha dalla proporzione tang B : tang E :: EK : BK, e quindi tang $B = \frac{EK}{BK}$ tang E; oppure, prendendo gli angoli in vece delle loro tangenti e sostituendo l' angolo C al suo eguale E, verrà $B = A\frac{AQ' \times EK}{Q'C \times BK} = A\frac{AQ'}{BK}$, perchè le distanze

(1) Ordinariamente queste due lenti intermedie sono collegate coll' oculare in un medesimo tubo, e formano un solo sistema mobile delle tre oculari, sicchè se gli oggetti per una data vista son troppo lontani bisogna raccorciare il canocchiale, il che si ottiene muovendo il tubo che porta le tre oculari C, E, B in modo che l' ultima si avvicina all' oggettivo A: se al contrario gli oggetti son troppo vicini si allunga il canocchiale per mezzo di un moto contrario, col che si allontana l' oculare B dall' oggettivo.

focali delle due lenti intermedie ordioariamente sono eguali; dal che segue che l'ingrandimeoto è lo stesso che per il canocchiale astronoorico. Intanto gli astronomi preferiscon questo, 1.° perchè assorbisce meoo luce, 2.° perchè ha un maggior campo, 3.° perchè può sostenere un oculare d'un fuoco più corto.

Canocchiale di Galileo

513. Il canocchiale astronomico fa vedere gli oggetti rovesciati, e il terrestre assorbisce una grandissima quantità di luce; dimanierachè non sono nè l'uno nè l'altro d'un uso comodo per scorgere gli oggetti terrestri poco illuminati. Se nel canocchiale astrouomico si cambi la leote convergente in una divergente, resulterà uno strumento che avrà il doppio vantaggio di non produrre che una debole perdita di luce, e di far vedere gli oggetti nella lor situazione naturale. Tale è il canocchiale di Galileo, o cauocchiale da Teatro.

Un oggetto lontano PS (*fig.* 365) anderà a dipingersi io P′S′: se qui si ponga un cartone, o si riceva quest'imagioe sopra un oculare, come oel canocchiale astronomico (n.° 511), si vedrà rovesciata; ma se davanti all'imagine P′S′ si fissi una lente divergente B, l'imagine stessa comparirà addirizzata: allora ogni fascio sarà deviato e allontanato dall'asse, sicchè bisognerà che l'occhio sia vicinissimo all'oculare per ricever la luce. La curvatura della lente concava è tale, che la luce emergente ha il grado di divergenza opportono per la visione distinta. È chiaro poi che l'oggetto comparirà diritto, perchè il punto S′ verrà in S″, e il punto P′ in P″.

L'ingrandimento è lo stesso che nel canocchiale astronomico. A occhio nudo si vedrebbe l'oggetto sotto l'angolo PAS =P′AS′: e nel canocchiale di Galileo si vede sotto l'angolo FOG=S′BP′. Ora i due angoli P′AS′ ed S′BP′ posando sul medesimo lato S′P′ sono fra loro come BQ′ ad AQ′, cioè come le distanze focali dell'oculare e dell'oggettivo. Noi qui riguardiamo BQ′ come la principal distaoza focale dell'oculare: infatti i due fasci P′ ed S′ sono sensibilmeote paralleli nella lunghezza della distanza BQ′; dunque il fuoco O è il fuoco dei raggi paralleli, e in conseguenza BQ′ è la principal distanza focale.

Il campo del canocchiale di Galileo è determinato dall'apertura della pupilla, esso ha poca estensione, e però l'occhio deve situarsi vicinissimo all'oculare.

In questo canocchiale come nell'astronomico, l'oculare deve essere avvicinato all'oggettivo per i miopi, e allontanato per i presbiti. Con questo strumento Galileo scoprì le macchie del Sole,

i satelliti di Giove, le fasi di Venere, e fece inoltre molte altre importanti scoperte.

Telescopii

514. I telescopii sono strumenti composti di specchi combinati in modo da produrre imagini distinte per mezzo della reflessione della luce, le quali imagini son poi viste a traverso d'un oculare. Il più semplice di tutti i telescopii è quello con cui Herschell ha fatto tutte quelle belle scoperte che in questi ultimi tempi hanno arricchita l'Astronomia. Esso è formato d'un gran specchio che si presenta all'astro in situazione inclinata; e per tal'inclinazione l'osservatore può vedere per mezzo d'una lente acuta l'imagine prodotta accanto all'asse. Poca è la luce che si perde, perchè la reflessione non ha luogo che sopra un solo specchio.

515. Newton aveva imaginato un telescopio poco diverso dal precedente; se non che l'asse dello specchio era diretto verso l'astro, e l'imagine era reflessa lateralmente da uno specchio piano, e vista poi a traverso d'una lente (*fig.* 366). In questo telescopio l'imagine è più indebolita che nel precedente, a motivo della doppia reflessione. Invece dello specchio piano in questo canocchiale si può mettere un prisma situato in modo da produrre sopra una delle sue faccie la reflessione totale. L'imagine P'S' dell'oggetto PS situato ad una distanza infinita, si forma nel fuoco principale (n.° 439). Lo specchio piano non fa che cambiare la direzione della luce senza alterare in verun modo le dimensioni dell'imagine. Per calcolare l'ingrandimento basta riflettere, che a occhio nudo l'astro si vedrebbe sotto l'angolo PCS=P'CS', mentre nel telescopio si vede sotto l'angolo *mon* =P'HS'.

Per maggior semplicità supponiamo che la lente oculare sia situata in H, il che non cambia l'ingrandimento; e si vedrà che i due angoli P'CS', P'HS' son fra loro come le distanze focali HR e CR. Questo ingrandimento è lo stesso che nel telescopio di Herschell.

516. Alcuni anni prima di Newton, cioè nel 1663, Gregori aveva formato un telescopio composto di due specchi concavi e d'una lente, ma Newton non lo conobbe che nel 1666. Giovanni Halley nel 1719 lo ridusse a maggior perfezione. Il gran specchio *mn* (*fig.* 367) è forato nel centro, e in questo foro è posto l'oculare: davanti a questo specchio e al di là dell'imagine è situato un secondo specchio *rq*, molto più piccolo del primo, che serve ad addirizzare l'imagine. I raggi reflessi da *mn* formano un'imagine FH; i raggi che la compongono si reflettono sul piccolo specchio *rq*, e producono in F'H' una seconda imagine, che si

guarda per mezzo dell'oculare. Dunque nel telescopio di Gregori l'imagine comparisce diritta, mentre in quello di Newton è rovesciata; ma la perdita di luce è la stessa in ambedue.

I piccoli telescopii sono raramente usati nelle osservazioni, ma in vece si preferiscono i canocchiali ordinarii: per le osservazioni però di astri poco brillanti si preferiscono i grandi telescopii, perchè conservano molta luce; e infatti non sono stati costruiti fin qui canocchiali astronomici di grandezza sufficiente per queste specie di ricerche.

Cassagrain al piccolo specchio concavo del telescopio di Gregori ha sostituito uno spechio convesso, affinchè le aberrazioni di sfericità (n.° 518) prodotte dai due specchi si compensino scambievolmente. Nel telescopio di Cassagrain la prima imagine non si forma realmente, perchè deve cadere al di là del piccolo specchio fra il suo fuoco principale e la sua superficie (n.° 441). L'ingrandimento poi di questo telescopio non si trova se non con un calcolo piuttosto complicato (*a*).

(*a*) *Calcolo dell' ingrandimento del telescopio di Gregori*

AB è l'oggetto (*fig.* 368);
C il centro del gran specchio *zx*
e il centro del piccolo specchio *pq*
F il fuoco del gran specchio
g il fuoco del piccolo specchio
Si fa CF=F, e *vg*=*f*

L'oggetto a occhio nudo sarebbe visto sotto l'angolo ACB, che chiameremo G; nel telescopio si vede sotto l'angolo *olo'*, o sotto il suo eguale *mli*, che chiameremo γ: l'ingrandimento sarà $\frac{\gamma}{G}$. Cambiamo quest' espressione in un' altra composta di quantità di cui i valori sieno noti, per le distanze focali degli specchi e della lente oculare.

Per i triangoli CF*n* ed F*en* avremo le proporzioni

$\frac{Fn}{FC} : \frac{Fn}{Fe} :: FCn : Fen :: Fe : FC$. Ora $Fe = cv - vF = 2vg - vF$; per aver il valore di *v*F bisogna osservare, che il punto F, fuoco del gran specchio, è fra il centro *e* e il fuoco *g* del piccolo specchio. I raggi partiti divergenti dall' imagine F*n*, dopo essersi reflessi sullo specchio *pq*, anderanno a formare una seconda imagine *im* quasi nel fuoco della lente oculare. Dal n.° 441 abbiamo l'equazione

$\frac{1}{p} + \frac{1}{p'} = \frac{2}{r}$; e sostituendo a p, p', r i loro valori nella *fig.* 367 si ha $vF = \frac{vi \times ve}{2vi - ve} = \frac{vi \times 2vg}{2vi - 2ve} = \frac{2(F+f)f}{2(F+f) - 2f} = \frac{(F+f)f}{F}$. Si noti però, che qui si suppongono gli specchi situati in maniera, che sia

Microscopio Catadiottrico

517. Il nuovo microscopio (*fig.* 369) è composto d'un tubo di rame, lungo 12 pollici incirca, tenuto in situazione orizzontale. Ad una delle estremità A di questo tubo è adattato uno specchio metallico concavo di forma ellittica; e i fuochi dell'ellisse sono uno a 2 poll. e $\frac{6}{10}$, l'altro a 12 poll. dal centro della superficie dello specchio. In E è un piccolo specchio piano ovale, formato dalla sezione obliqua d'un cilindro metallico di $\frac{5}{10}$ di poll. di diametro. Il mezzo della superficie di questo specchio E corrisponde all'asse del gran specchio A, ed è lontano 1 $\frac{1}{2}$ poll. dal centro di esso. I raggi dell'oggetto vanno a colpire immediatamente questo specchio. Una piccola apertura F lascia passare la luce dell'oggetto O. e lo specchio piano la riflette sullo specchio concavo A. Per mezzo d'un sostegno annesso ad un tubo che si fa scorrere a piacere, e a piacere si fissa al piede dell'apparecchio per mezzo della vite R, si situa l'oggetto nel fuoco più vicino dello specchio concavo, sicchè l'imagine viene a formarsi nel secondo fuoco B, ed è vista per mezzo dell'oculare. Variando questo, si varia l'ingrandimento dell'imagine.

Il tubo ha 1 $\frac{2}{10}$ poll. di grossezza, e 1 $\frac{1}{10}$ poll. di diametro interno, e l'oggetto è distante dal tubo $\frac{1}{2}$ poll., e può essere illuminato da ogni parte: lo specchio E forato nel centro, serve per illuminarlo per la parte superiore; e uno specchio concavo situato in S′ serve per illuminarlo dalla parte inferiore, ed ambedue questi specchi son posti a distanze opportune per mezzo di cerniere.

$gF = if$, nel qual caso soltanto è $vi = Vg + gF + Ff - fi = F + f$. Mettendo questo valore di vF nell'espressione precedente di Fe, avremo $Fe = 2f - \frac{(F+f)f}{F} = \frac{f(F-f)}{F}$. Quindi $\frac{f(F-f)}{F} : F :: G : neF$, e però $neF = \frac{F^2G}{f(F-f)}$. Ma i due triangoli iem, lim danno $il : ie :: mei : mli$; oppure mettendo il valore di $mei = neF = \frac{F^2G}{f(F-f)}$, e rappresentando con φ la distanza focale della lente oculare, e osservando che $ie = Ff - if + gF - ge = Ff - ge = F - f$, si ha $\varphi : F - f :: \frac{F^2G}{f(F-f)} : \gamma = \frac{F^2G}{f\varphi}$, e quindi $\frac{\gamma}{G} = \frac{F^2}{f\varphi}$. Questa è l'espressione dell'ingrandimento del telescopio di Gregori (*Vedi* Lacaille, p. 128). Essa sarebbe anco più complicata, senza la supposizione di $gF = if$, ma il valore numerico sarebbe sempre quasi lo stesso.

L' Amici non ha avuto occasione di paragonare il suo microscopio con quelli di Utzschneider e di Frauuofer, ma lo riguarda come superiore ai migliori microscopii diottrici costruiti da Adams e da Dollond, dacchè con esso ottiene un ingrandimento d' un milione di volte (*An. ch.* t. 17).

Altri microscopii si trovano descritti nei Trattati di Ottica, imaginati successivamente da Newton, da Smith e da Barker; ma noi crediamo che basti l'aver data la descrizione di uno solo. Anzi l' Amici in una sua Memoria osserva, che in generale ogni telescopio può trasformarsi in microscopio, servendosene al rovescio.

OSSERVAZIONI GENERALI SUI CANOCCHIALI

Relativamente ai canocchiali sono da osservarsi in generale tre cose: 1.° l' aberrazione di sfericità; 2.° l' aberrazione di refrangibilità; 3.° i mezzi imaginati per rendere acromatiche le lenti.

Aberrazione di sfericità

518. Questo difetto, che si trova in tutti gli strumenti diottrici, deriva dalla figura sferica delle lenti, in virtù della quale i soli raggi vicinissimi all' asse posson concorrere sensibilmente in un punto comune. I raggi più lontani son più refratti, e tagliano l' asse al di qua del fuoco comune dei raggi precedenti; dal che resulta, che il fuoco di tutti i raggi luminosi emanati da una stessa parte d' un oggetto, non è un punto unico; e da ciò nasce la confusione delle imagini.

Per correggere l' aberrazione di sfericità, e scemare l'estensione dell' oggettivo, nell' interno dei canocchiali si suol mettere un *diaframma* che impedisce l' accesso a tutti i raggi che vengono dagli orli dell' oggettivo.

Aberrazione di refrangibilità

519. Nel parlar delle lenti e degli effetti che esse producono, abbiam fatto astrazione dalla diversa maniera con cui esse refrangono i raggi; ma le imagini che esse producono, supposte da noi senza colore, son sempre più o meno colorate; e questo è appunto il difetto conosciuto sotto il nome di *aberrazione di refrangibilità.*

Per ben comprendere in che consiste nn tal difetto, si faccia cadere un raggio SI di luce solare sopra una lente MN

(*fig.* 370). Questo raggio, come già vedemmo altrove (n.° 470), è la riunione di sette raggi principali: consideriamo ora soltanto i due raggi estremi, cioè il rosso che è il meno refrangibile, e il violetto che è il più refrangibile: il primo anderà per la linea IHR, il secondo anderà per IKV, e gli altri saranno intermedii. Se a questo raggio SI si sostituisca un fascio esteso, l'imagine ricevuta sopra un cartone bianco sarà colorata.

È questo un gran difetto che si trova in tutti i canocchiali. Le lenti, che non sono se non una riunione di prismi, determinano la scomposizione della luce tramandata dagli oggetti, e producono imagini alterate dalla diffusione dei fuochi. In mezzo a queste imagini la colorazione è insensibile, perchè dalla riunione dei diversi colori vien riprodotta la luce bianca, ma sugli orli si formano certe iridi che sfigurano totalmente le imagini.

Canocchiali acromatici

520. Euler fin dal 1747, riflettendo sulla struttura dell'occhio, concepì la bell'idea di distruggere tutte quelle frange colorate che ordinariamente circondano le imagini dipinte nei canocchiali. Considerando egli che gli oggetti da noi guardati a occhio nudo non son mai alterati da estranei colori, pensò che sarebbe possibile correggere l'aberrazione di refrangibilità, formando lenti composte di varie sostanze, ad imitazione dell'organo della vista (*a*); e con la sua solita accortezza cercò di quali dimensioni dovessero farsi gli oggettivi per renderli acromatici.

Secondo Newton era impossibile distruggere la diffusione dei fuochi. « Ogni qual volta, dice questo gran Fisico, i raggi di luce passano a traverso di due mezzi contigui di densità diversa, come acqua e vetro, per passar quindi nell'aria, o sieno parallele o inclinate le superficie, e che intanto la refrazione dell'uno distrugga la refrazione dell'altro, sicchè i raggi emergenti sieno paralleli ai raggi incidenti, la luce esce sempre bianca; e se i raggi emergenti sono obliqui ai raggi incidenti, la luce acquista colori » (*Optice lucis*, L. I, P. 2.ª).

Questa proposizione di Newton persuadeva Dollond che era inutile qualunque ricerca per costruire canocchiali acromatici. Ma Kligentierna, celebre Professore nell'Università di

(*a*) L'occhio non può essere acromatico, perchè tutte le sue parti refrangono nel medesimo senso.

Upsal, non credendo all' autorità del Maestro, fece una Memoria con la quale e col raziocinio e con la Geometria si oppose alla proposizione di Newton. Allora Dollond ripetè l' esperienza, e la trovò falsa. Da quell' epoca in poi i più distinti Geometri si unirono ai Fisici per cercare qual curva fosse più adattata per formar gli oggettivi, ed ecco in poche parole il resultamento delle loro ricerche.

Per ben intendere la costruzione degli oggettivi acromatici, bisogna prima distinguere la *dispersione* dalla *refrazione*. La refrazione dei fasci luminosi è la deviazione che prova il raggio medio, cioè il verde. La dispersione è l'eccesso della refrazione del raggio più refrangibile, cioè il violetto, su quella del raggio meno refrangibile, cioè il rosso.

Se la dispersione fosse proporzionale alla refrazione, come sembrava indicarlo un' esperienza di Newton, l' effetto della dispersione non potrebbe esser distrutto, senza distruggere nel tempo stesso l' effetto della refrazione, cioè non accaderebbe distruzione di colori, se non per raggi emergenti paralleli ai raggi incidenti: non accaderebbe neppure il concorso dei raggi verso l' asse delle lenti, e in conseguenza sarebbe evidentemente impossibile formare oggettivi acromatici. Ma l' ipotesi d' una dispersione proporzionale alla refrazione è ben lungi dall' esser conforme alla verità. È vero che in generale le sostanze che più refrangono la luce sono altresì quelle che più la dispergono; ma anco questo caso presenta molte eccezioni. Per esempio, il potere dispersivo dell' essenza di terebinto è maggiore di quello del crown, mentre il suo potere refrattivo è minore. Il flint, che è cristallo (1), e il crown che è vetro

(1) Faraday, Herschell e Dollond ricevettero nell'anno scorso dall' Instituto R. di Londra la commissione di fare le opportune ricerche sul modo di fabbricare, per gli usi ottici, un vetro senza bolle e senza macchia, e che specialmente non presentasse nè ondulazioni nè strie, e che esercitasse un' azione uniforme sulla luce. Faraday nel suo rapporto, dopo aver discorso della grande scoperta degli oggettivi acromatici fatta da Dollond nel 1758, e dei resultamenti ottenuti da Guinand, Fraunhofer, Bontemps e Lerebours nella fabbricazione d' un vetro adattato all' uopo richiesto, fabbricazione che egli trova di maggior difficoltà in Inghilterra che in Francia, riferisce i resultamenti delle sue indagini. Dice che il flint ordinario può considerarsi come un composto d' ossido di piombo, di silice e d' alcali; e il suo è composto d' ossido di piombo, di silice e di acido boracico, avendo trovato che l' alcali nuoce all' effetto voluto dalle lenti. Questo vetro così composto è facilmente fusibile a un calor rosso. Per formarlo, si mescolano in principio le sostanze necessarie, in stato purissimo, in crogiuoli di terra, ove esse formano una massa grossolana di vetro, una porzione della quale si trasporta in un crogiuolo di platino: allora si prosegue l' operazione, finchè il vetro sia divenuto perfetta-

ordinario, ambedue usati da lungo tempo nella costruzione dei canocchiali acromatici, hanno quasi lo stesso potere refrattivo; mentre il potere dispersivo del primo sta al potere dispersivo del secondo nel rapporto di 3 a 2.

Vediamo ora come con due prismi si può formare un prisma composto che refranga la luce senza dispergerla, che è appunto la condizione che si ricerca. Sia ABCD questo doppio prisma (*fig.* 371): il prisma ABC, l'angolo A del quale è maggiore dell'angolo C del prisma CAD, è di vetro ordinario, e il prisma CAD è di cristallo. Un raggio SI di luce solare cadendo sulla faccia AB del prisma ABC, sarà refratto e disperso; i due raggi estremi, cioè il violetto e il rosso, sono indicati da IR e IV; questi son deviati verso la base del prisma: entrando nel secondo prisma CAD di cristallo, l'angolo del quale è voltato in senso opposto, ciascun raggio sarà portato verso la base AD; ma poichè il potere refrattivo è quasi proporzionale all'angolo, ne segue che il fascio sarà sempre inclinato verso la base BC: il prisma CAD, avendo un potere dispersivo molto maggiore di quello del prisma ABC, potrà, quantunque con un angolo minore, riportare verso la sua base AD il raggio violetto più che il raggio rosso, in modo che questi due raggi ripassino nell'aria paralleli fra loro, e in conseguenza in uno stato opportuno per produrre un'imagine senza colore. Dopo ciò sarà facile formarsi un'idea delle lenti acromatiche.

Sieno due lenti, una biconvessa e l'altra biconcava, addossate l'una all'altra, e col medesimo asse AA' (*fig.* 372). Sia SI un raggio di luce bianca; esso sarà disperso nella prima lente MN biconvessa, in modo da dare sette raggi principali, dei quali i due estremi vanno nelle direzioni IR ed IV. La seconda lente MNPQ formata di cristallo, e che ha un angolo minore, non potrà distruggere perfettamente la refrazione della prima lente, e il raggio sarà inclinato verso l'asse: ma poichè il potere dispersivo del cristallo è molto maggiore di quello del vetro ordinario, il raggio violetto sarà gettato verso la base MQ più che il raggio rosso: dall'altra parte, poichè passando nell'aria la deviazione accaderà nel senso opposto, sarà possibile formare le due lenti con tali curvature, che il punto di concorso dei raggi sia sull'asse, e in conseguenza

mente trasparente e unito, e si sia raffreddato e addolcito. Dollond l'ha sperimentato più volte nella formazione dei telescopii, e l'ha trovato molto buono. Faraday, per quanto non presuma d'avere sciolto completamente un tal problema, tuttavia non ha che leggieri dubbii sul buon esito di questa scoperta. (*Bibl. Univ.*, Settembre 1829).

che non vi sia se non un fuoco soltanto; e una lente costruita in tal modo produrrebbe imagini senza colore.

In generale, l'aberrazione di refrangibilità non si corregge se non relativamente all'oggettivo, lasciando sussistere quella che deriva dall'oculare, perchè essendo ben piccolo l'intervallo che per arrivare all'occhio debbon percorrere i raggi i quali escono da quello, essi non sono in grado di soffrire una separazione tale, che l'occhio non possa sostenere l'aberrazione di refrangibilità che ne resulta.

521. Il calcolo indica che bisogna adoprar prismi, gli angoli dei quali sieno in ragione inversa dei poteri dispersivi, alla qual prima condizione si soddisfa primieramente in un modo approssimativo, e il resto si eseguisce poi con la pratica.

Se si adoprano due prismi soltanto, e si distruggono i colori per i due raggi estremi, si osserva che i colori dei raggi intermedii non spariscono totalmente; il che fa vedere, che la dispersione dei diversi raggi non segue la stessa legge nelle sostanze di natura diversa

In generale però non è necessario un acromaticismo perfetto, ma basta evitare le frange più vivaci, quali sono le gialle e le rosse, dimanierachè, quantunque secondo il calcolo sieno necessarii tanti prismi quanti sono i diversi colori, tuttavia non se ne mettono in uso se non due o tre solamente.

Strumenti fondati sulla reflessione della Luce

Per misurar gli angoli sono stati costruiti i *goniometri*, che sono molto in uso per le ricerche di Fisica e di Cristallografia. I due più semplici son quelli di Malus e di Wollaston.

Goniometro di Malus

522. Il goniometro di Malus (*fig.* 373) consiste in un circolo orizzontale graduato, sul quale è situata un' alidada mobile intorno ad un asse verticale che passa per il centro del circolo. Su questa si fissa con cera il cristallo di cui si vuol conoscere l'angolo diedro, per esempio quello formato dalle facce AB, BC. Primieramente bisogna disporre il cristallo in modo che la costola comune BB' sia verticale, il che si ottiene per mezzo d'un canocchiale *mn* fissato al piede dell'apparecchio. Si colloca lo strumento davanti ad una finestra, di dove si scorgono varii oggetti lontani verticali, come cammini, parafulmini, ec.; e sarà certo che la costola BB' comune alle due facce è verticale, quan-

do verticale comparisca l' imagine riflessa sopra ciascuna delle due facce, cioè quando coinciderà col filo teso verticalmente nel canocchiale Dopo aver soddisfatto a questa condizione, si fa girare l' alidada che porta il cristallo, finchè l' imagine d' un oggetto, vista per riflessione sopra una delle facce dell' angolo diedro, coincida con l'incrociamento dei fili del canocchiale. Quindi si fa di nuovo girar l' alidada, finchè si scorga l' imagine dello stesso oggetto reflessa sull'altra faccia; e l'angolo di spostamento dell' alidada è precisamente il supplemento dell' angolo diedro delle due facce. Infatti se CBA (*fig.* 374) è la proiezione dell' angolo diedro, essendo immobili il canocchiale e l' oggetto, la faccia BA' è necessariamente parallela a BC, quando il cristallo riflette l'oggetto nel secondo esperimento: dunque l'angolo ABA' è supplemento di ABC.

Questo processo presenta il vantaggio di poter ripetere le misure, e quindi dividere il valore totale per il numero delle operazioni, col che si scema notabilmente l' errore.

Goniometro di Wollaston

523. Il goniometro di Wollaston è destinato a misurare gli angoli diedri dei piccoli cristalli. È formato d' un circolo verticale graduato (*fig.* 375), mobile intorno ad un asse orizzontale *ab*, nel quale è situato un altro asse orizzontale più piccolo *cd*. All' estremità saliente di questi sono adattati alcuni pezzi mobili rettangolarmente, sui quali, come in *h*, si fissa con cera il cristallo. Volendo la misura dell' angolo d' un cristallo, l' osservatore si colloca in faccia ad un edifizio che presenti molte lince orizzontali e parallele. Si dispone lo strumento in modo, che il suo lembo sia perpendicolare alle linee orizzontali che debbono servire di mira; quindi si fa girare il piccolo asse *cd*, finchè l'occhio, situato vicinissimo al cristallo, scorga per reflessione una delle linee superiori e orizzontali dell' edifizio: si prosegue poi a girarlo, finchè quest'imagine reflessa coincida con una delle linee orizzontali vista direttamente. Verificata la stessa condizione sull' altra faccia dell' angolo diedro, sarà certo che perfettamente orizzontale è l' intersezione comune delle due facce. Se si ripete la stessa operazione, partendo da una situazione determinata, e facendo muovere il cristallo per mezzo del grande asse *ab*, al quale sono attaccati il lembo *ki* e il piccolo asse *cd*, è chiaro che l' arco percorso dal lembo sarà supplemento dell' arco che misura l' angolo diedro. Dall' altra parte si può ancora scriver la divisione segnata sul lembo in modoche essa dia l'angolo direttamente.

Camera lucida

524. La *camera lucida* può adoprarsi per il disegno. La parte principale di questo strumento è un prisma quadrangolare AB (*fig.* 376). Questo è disposto in modo, che presenta la faccia AB perpendicolarmente alla direzione dei raggi luminosi tramandati dagli oggetti esterni. I raggi nell'entrare in AB non provano veruna deviazione, ma sulle facce interne BL ed LE soffrono due volte la reflessione totale, e arrivano all'occhio dell'osservatore situato in O. Questo osservatore vedrà dunque un imagine degli oggetti diritta e orizzontale, che crederà di veder venire direttamente a traverso del prisma; e se pone l'occhio in modo che i raggi reflessi occupino soltanto la metà della pupilla, potrà vedere nel tempo stesso l'imagine e il cartone sul quale comparirà proiettata, e seguirne così tutte le parti con un lapis appuntato. Chiunque o miope o presbita può far uso di questo strumento, associando quella lente che più conviene alla sua vista.

Tale è la camera lucida imaginata da Wollaston. In pratica però è stato rilevato in questo strumento un difetto, il quale consiste nelle apparizioni e sparizioni della punta del lapis, ad ogni minimo moto che faccia l'occhio, il che stanca notabilmente la vista: tuttavia con la pratica si può giungere ad ottenere da questo strumento l'intento voluto.

525. Un'altra *camera lucida* è stata proposta pochi anni sono dal Prof. Amici. Questo nuovo strumento consiste (*fig.* 377) in uno specchio di metallo, la superficie AB del quale è inclinata 135° sulla superficie DC d'una lastra di vetro DCFE, a facce parellele. I raggi SI degli oggetti son reflessi primieramente dallo specchio, quindi dalla faccia anteriore del vetro, in modo da divenir perpendicolari alla lor direzione primitiva. L'occhio situato in O scorge l'oggetto lontano S in Q sulla superficie d'un foglio sul quale può disegnarsi l'imagine. Con questa disposizione si evita l'inconveniente accennato nella camera lucida di Wollaston.

Aggiungiamo ora qualche particolarità per render più facile l'uso d'un tale strumento.

Una lente concava, posta davanti allo specchio metallico, o una lente convessa posta sotto la lastra di vetro, produce la stessa divergenza nei raggi venuti dagli oggetti e dalla punta del lapis.

Inoltre, per mezzo di lenti opportunamente disposte, si può ottenere a piacere un'imagine più piccola o più grande dell'oggetto.

Per mezzo d' un vetro colorato posto davanti allo specchio AB, si scema, se occorre, la vivacità della luce.

Se la lastra di vetro non avesse le sue facce parallele perfettamente, l' imagine reflessa dalla seconda faccia EF non coinciderebbe con quella reflessa dalla prima faccia CD. Per evitare il difetto di coincidenza, si appanna una parte HE della seconda faccia (*a*); ma questa operazione si eseguisce a poco a poco, e dopo molte prove dello strumento.

È utile ancora disporre una lastra opaca davanti allo specchio metallico, per intercettare i raggi che esso manda direttamente all' occhio.

526. In diverse altre maniere lo stesso Amici ha costruito questo apparecchio. Per esempio, in quello rappresentato dalla *fig.* 378, la luce degli oggetti passa a traverso del vetro, e si reflette sullo specchio metallico AB inclinato su questo vetro 45.° Nella *fig.* 379 un prisma triangolare ed isoscele di vetro ABC fa le veci dello specchio metallico, ed alla lastra di vetro EF è sostituito uno specchio metallico, nel quale è fatta una fessura, minore del diametro della pupilla, per la qual fessura si può scorgere il lapis.

Il prisma triangolare e isoscele di vetro è stato preferito dall' Amici, tanto perchè è inalterabile, quanto perchè reflette una maggior quantità di luce.

Questa nuova camera è rappresentata dalla *fig.* 380. ABE è il prisma isoscele di vetro, la base AB del quale fa un angolo di 45° con la lastra piana DC. I raggi SI degli oggetti si reflettono primieramente sulla faccia AB del prisma, quindi sulla faccia DC della lastra, e arrivano all' occhio in O. L'Amici stesso osserva, che per impedire all' occhio, se si inoltri un poco troppo, di vedere in R un' imagine prodotta dalla reflessione interna delle facce del prisma, bisogna fare l' angolo E un poco minore dell' angolo retto, e coprire la parte superiore CE con una lastra di rame, tagliata con una sola fessura per la quale si deve guardare (*An. ch.* t. 22). Da tutte queste specie di camera lucida si rileva quanto esteso sia l'uso che può farsi dei prismi per la reflessione della luce.

(*a*) Questa coincidenza non ha luogo nel caso del parallelismo, se non per oggetti lontani.

DOPPIA REFRAZIONE

527. Un raggio di luce quando cade sopra un mezzo diafano, facendo un certo angolo d'incidenza, penetra in quello, e soffre una deviazione che è stata chiamata *refrazione*. Il raggio refratto e il raggio incidente sono in uno stesso piano su cui è la normale al punto d'incidenza; e passa un rapporto costante fra i seni degli angoli d'incidenza e di refrazione. Questa è la legge della refrazione ordinaria (n.° 449).

I corpi cristallizzati, la forma primitiva dei quali non è nè un cubo nè un ottaedro, hanno la proprietà di dividere il raggio refratto in due parti distinte, una delle quali segue la legge precedente, e si dice *raggio ordinario*, l'altra, chiamata *raggio straordinario*, segue una legge molto più complicata. In ciò consiste la *doppia refrazione*.

La prima osservazione relativa alla doppia refrazione sembra essere stata fatta da Erasmo Bartholin, e i più valenti Fisici, e principalmente Huyghens e Newton si sono occupati nella spiegazione di questo fenomeno Huyghens ne aveva scoperta la vera legge, la quale però fu rigettata senza esame, perchè era collegata col sistema delle ondulazioni. Ma Malus in Francia e Wollaston in Inghilterra hanno richiamata l'attenzione dei Fisici su questo singolar fenomeno, ed hanno fatto vedere che vera e fedele era la legge che Huyghens aveva proposta. Nell'esposizione seguente vedremo le scoperte che dopo Malus hanno fatte i dotti francesi e stranieri.

528. Nei cristalli, nei quali le leggi di doppia refrazione sono le più semplici, esiste sempre una certa direzione, intorno alla quale tutto accade nella stessa maniera da ogni parte. Questa direzione è l'*asse* del cristallo; ma non si dee riguardar questo asse come linea unica, e anzi in un cristallo bisogna figurarsi tanti assi quante son linee parallele a questa direzione.

Vi sono alcuni cristalli nei quali non si trova questa similitudine intorno all'asse, e nei quali anzi appariscono due direzioni particolari più o meno inclinate fra loro, che presentano fenomeni simili a quelli che si osservano nella direzione dell'asse, quando tutto è simile intorno ad esso. Questi si chiamano cristalli *a due assi*, mentre gli altri son detti cristalli *a un asse solo*.

529 Nello spato d'Islanda sono stati osservati per la prima

volta i fenomeni della doppia refrazione, e questa sostanza è quella appunto che li produce più energici (*a*).

Si chiama *sezione principale* il piano condotto per l'asse, e perpendicolarmente alla faccia del cristallo.

L'asse di refrazione è la linea che unisce i due angoli triedri ottusi; e questa linea è inclinata egualmente sulle facce del cristallo.

In quanto ai raggi incidenti perpendicolari alla faccia del cristallo, il raggio straordinario devia sempre nella direzione del piano della sezion principale; e questa deviazione divien *nulla* ogni qual volta i raggi passano a traverso del cristallo parallelamente o perpendicolarmente all'asse, come vedremo altrove.

530. Se si metta un romboide di spato d'Islanda sopra una linea nera, e si faccia girare, vi sarà una situazione in cui non si vedrà che una sola imagine, il che accaderà quando l'occhio e la linea saranno nel piano della sezione principale.

Se si prosegue a girare il cristallo, la linea si divide in due parti, una delle quali, che è l'imagine ordinaria, resta immobile, mentre l'altra che è l'imagine straordinaria, si muove insieme col cristallo.

Se alla linea nera si sostituisce un punto, si veggono *due imagini* in qualunque situazione si guardi; e solamente in quella ove la linea sembra unica, le due imagini del punto e l'occhio sono nello stesso piano della sezione principale.

531. Se un raggio incidente SI (*fig.* 381) nel piano della sezione principale, è inclinato o perpendicolare alla superficie, si dividerà in due raggi IO ed IE, che saranno pur contenuti nel piano della sezione principale; e giunti alla faccia inferiore del romboide, esciranno in EH e in OK, parallelamente al raggio incidente.

Se il raggio incidente SI (*fig.* 382) si trova in un piano diverso da quello della sezione principale, il raggio straordinario si allontanerà dal piano d'incidenza; ma i due raggi emergenti non saranno per questo meno paralleli al raggio incidente.

532. Malus ha misurato l'ampiezza EO con un mezzo semplicissimo, che è stato poi adottato da tutti i Fisici. Questo metodo consiste nel segnare sopra una lastra d'avorio un triangolo isoscele ABC (*fig.* 383), di cui il lato minore AB sta agli altri lati, divisi in parti eguali, nel rapporto di 2 a 19. Si guarda il triangolo a traverso del romboide, a si vede doppio; e in qualunque

(*a*) Mitscherlich ha osservato un fatto singolare, cioè che un cristallo di spato d'Islanda, sottoposto all'azione del calore, si dilata nel senso del suo asse, e si contrae perpendicolarmente al medesimo. È probabile che anco altri cristalli sieno capaci di presentare fenomeni analoghi a questo.

situazione il lato AC dell'imagine ordinaria è tagliato in un certo punto I' dal lato B'C' dell'imagine straordinaria. Per mezzo delle divisioni segnate sui lati AC, BC, si conosce la disposizione del punto I'; e prendendo sopra BC una quantità IC=I'C', si hanno due punti I e I' tali, che l'imagine straordinaria del primo si confonde con l'imagine ordinaria del secondo. Allora si segna sulla superficie superiore del romboide la situazione del punto in cui si produce contemporaneamente l'imagine dei due punti I ed I', e si prende la grossezza del cristallo, per calcolare l'angolo compreso fra i raggi ordinario e straordinario.

533. Nei due primi esperimenti abbiamo appreso che il raggio straordinario è rigettato verso l'angolo A, dimanierachè tutto accade come se nell'asse del cristallo fosse una forza repulsiva, la quale agisse sopra una parte del raggio incidente che forma il raggio straordinario. Sottoponiamo quest'idea alla prova dell'esperienza.

Tagliamo un romboide di spato d'Islanda con due piani perpendicolari all'asse AB, e togliamone le due piramidi triangolari (*fig.* 384).

Un raggio incidente SI perpendicolare all'una o all'altra delle due facce artificiali del cristallo, non è diviso. Infatti in questo caso la forza repulsiva deve esser nulla sopra un raggio parallelo all'asse.

Se il raggio incidente SI è inclinato sulla faccia artificiale, la refrazione è doppia, e l'angolo compreso fra il raggio ordinario e il raggio straordinario è costante per una stessa inclinazione, qualunque sia il piano d'incidenza, il che non ha luogo se non per le facce perpendicolari all'asse. Da questo resultamento apparisce, che la forza repulsiva, cominciando dall'asse, agisce da ogni parte con la stessa energia.

Sia parimente un cristallo tagliato in forma di parallelepipedo (*fig.* 385), in modo che la costola AA' sia parallela all'asse del cristallo: quattro facce saranno parallele a questo asse, e due gli saranno perpendicolari. Un raggio SI cadendo (*fig.* 386) obliquamente sopra una delle facce parallele all'asse, ed in un piano perpendicolare al medesimo, dà due raggi che restano nel piano d'incidenza, e la deviazione del raggio straordinario è minore di quella del raggio ordinario; ed è questo il caso in cui i due raggi si allontanano di più l'uno dell'altro (*a*).

(*a*) È stato osservato, che i raggi i quali percorrono uno spazio parallelamente all'asse, hanno la stessa velocità; e che le velocità di propagazione presentano la maggior differenza, quando i raggi sono perpendicolari all'asse. La velocità di propagazione dei raggi ordinarii è la stessa in tutte le direzioni; e quella degli straordinarii varia al variar dell'angolo che essi fanno con l'asse. Dalle esperienze di

Se nello stesso piano perpendicolare all'asse si fa variare l'angolo d'incidenza, si trova che tanto per il raggio straordinario, quanto per l'ordinario esiste un rapporto costante fra i seni degli angoli d'incidenza e di refrazione (*a*).

534. Le costruzioni d'Huyghens non sono applicabili in tutti i

Huyghens. di Wollaston e di Malus sullo spato d'Islanda, e da quelle di Biot sul cristallo di monte resulta, che la differenza fra i quadrati delle velocità di propagazione dei raggi ordinarii e straordinarii, è proporzionale al quadrato del seno dell'angolo che essi fanno con l'asse nella lor direzione, nell'ipotesi però dell'emissione, o all'unità divisa per lo stesso quadrato nell'ipotesi delle ondulazioni. Nella direzione dell'asse il seno è nullo; nulla pure è la differenza delle velocità, ed i raggi ordinarii e straordinarii avranno la stessa velocità. La qual differenza crescerà al crescer del seno, finchè i raggi sieno perpendicolari all'asse, e diverrà forse ancora la massima.

La differenza delle velocità è positiva in alcuni cristalli, come per es. nel carbonato di calce; ed in altri, come nel cristallo di monte è negativa, poichè nei primi i raggi ordinarii hanno meno velocità degli straordinarii, e ne hanno più nei secondi.

(*a*) *Costruzione d' Huyghens*

1.° *Raggio incidente in un piano perpendicolare all' asse*

Sieno l, l' i rapporti dei seni degli angoli d'incidenza e di refrazione, per i raggi ordinario e straordinario, e si faccia $\frac{1}{l}=b$, $\frac{1}{l'}=a$. Dal punto I (*fig.* 387) d'incidenza come centro, e col raggio b si descriva un circolo ABC. Sia SI il raggio incidente, ID una linea condotta perpendicolarmente a questo raggio, FD una retta eguale all'unità inserita nell'angolo FID e perpendicolare a ID. Se dal punto F ove essa taglia il cristallo si conduca la tangente FO al circolo ABC, il punto O corrisponderà al raggio ordinario IO. Infatti gli angoli SIP ed FID essendo eguali, come pure gli angoli NIO ed OFI, perchè hanno i loro lati perpendicolari, avremo sen $SIP=\text{sen}FID=\frac{DF}{FI}=\frac{1}{FI}$, e sen$NIO=\text{sen}OFI=\frac{IO}{FI}=\frac{b}{FI}$. Da queste equazioni si deduce sen SIP : sen NIO :: $\frac{1}{FI}$: $\frac{b}{FI}$, ossia sen$i$: sen$r$ :: 1 : b, e di qui si ha $\frac{\text{sen } i}{\text{sen } r}=\frac{1}{b}=l$. Dunque IO è realmente la direzione ordinaria.

La costruzione con la quale si trova la direzione IE del raggio straordinario, è perfettamente simile alla precedente: basta condurre

casi, poichè egli ha operato nella supposizione che i due raggi sieno nello stesso piano.

Ecco la costruzione generale. Per il punto d'incidenza si conduce una retta AIB parallela all'asse del cristallo (*fig.* 390); su questa retta, come asse, si descrive un'ellissoide, di cui il semi-asse AI dei poli è eguale a b, rapporto costante per la refrazione ordinaria, e il semi-asse dell'equatore è eguale ad a, rapporto costante della refrazione straordinaria. Questo ellissoide è schiacciato, perchè $a>b$.

Per il raggio incidente, si conduce un piano perpendicolare alla faccia del cristallo; si determina il punto F sulla traccia di

dal punto F una tangente al circolo HKR, descritto con un raggio eguale ad $\frac{1}{l'}=a$.

2.° *Raggio incidente in un piano parallelo all'asse* (*fig.* 388)

Il raggio ordinario segue sempre il rapporto costante dei seni, sicchè si ha pure $\frac{\text{sen}i}{\text{sen}r}=l=\frac{1}{b}$.

Ma questa costanza più non si osserva per il raggio straordinario, poichè per questo si trova tang $r'=\frac{b}{a}$ tang r, dove r' ed r rappresentano gli angoli di refrazione per i raggi straordinario e ordinario, ed è $r'<r$.

La direzione del raggio straordinario può determinarsi ancora con una costruzione geometrica. Primieramente la direzione del raggio ordinario è determinata come nel caso precedente. Per trovar quella del raggio straordinario, fatto centro in I si descriva un'ellisse ANK (*fig.* 389), di cui il semi-asse minore IA sia eguale a b, e il semi-asse maggiore IN$=a$; quindi dal punto F si conduca una tangente FE, ed IE è il raggio straordinario. Infatti tang$r$ =tang OIN=tang IOQ $=\frac{IQ}{QO}$;

tangr'=tang EIN=tang IEQ$=\frac{IQ}{QE}$, quindi tang$r$: tangr' : : QE : QO; ma per una delle note proprietà dell'ellisse, QE : QO : : IN : IA : : a : b, dunque tang$r'=\frac{b}{a}$ tang$r$.

Dunque IE è la direzione dal raggio straordinario.

La maniera stessa con cui si presentano i fenomeni dei tubi capillari ha suggerite ad Huyghens queste costruzioni. Secondo quel gran Geometra, la refrazione ordinaria sarebbe prodotta da onde sferiche, e la refrazione straordinaria da onde ellittiche eccitate nell'etere che riempie il cristallo.

questo piano, come nelle costruzioni delle *figure* 387, 389. Nel piano della faccia del cristallo, che è quello dell'ellisse HM, si conduce una retta TFT', perpendicolare ad FIF'; per la retta TFT' si conduce un piano tangente all'ellissoide, e il punto E di contatto dà la direzione IE del raggio straordinario.

Se in vece d'un ellissoide si descrive una sfera sul diametro AIB, il punto O, determinato dal piano tangente, condotto a questa sfera per la stessa linea TFT', apparterrà al raggio ordinario IO (*Malus*, *duble refr.*, p. 4 ec.).

535. Abbiam detto di sopra (n°. 526), che le indicate costruzioni son concordi con l'esperienza; ma si suppongono note *a* e *b* che stanno invece di $\frac{1}{l}$ e $\frac{1}{l'}$, e si tratta dunque di determinare l e l'. Ciò si ottiene tagliando la sostanza data in un prisma, del quale le costole AB, CD, HI sieno parallele all'asse (*fig.* 391). Già sappiamo che in un piano perpendicolare a queste costole, il rapporto di refrazione è costante per ambedue i fasci, quindi o col metodo indicato n.° 450 o con qualche altro si determineranno i rapporti l, l'. Secondo Malus $l = 1{,}654$, e $l' = 1{,}483$ per i raggi medii dello spettro, e per lo spato d'Islanda. Questa proprietà però di raddoppiare le imagini, creduta per lungo tempo esclusiva dello spato d'Islanda, è stata trovata anco in molte altre sostanze.

536. Biot ha fatta una distinzione importante fra i diversi cristalli: alcuni, come lo spato d'Islanda, il fosfato di calce, il berillo, la tormalina, ec. hanno un asse repulsivo; altri, come il cristallo di monte, il solfato di barite, il topazio, il solfato di calce ec. hanno un asse attrattivo.

537. Il medesimo Fisico aveva annunziato da molto tempo l'esistenza di due assi nella mica; e Wollaston e Brewster sono stati i primi a determinare con esattezza la direzione e le proprietà di questi assi nel topazio, nel solfato di calce e in molti altri cristalli, tagliandoli perpendicolarmente a questi assi. I quali due assi in generale sono inclinati egualmente sulle facce corrispondenti di cristallizzazione, e l'angolo che essi fanno fro loro, varia nella maggior parte dei cristalli pei raggi di diversi colori. Nessuno fin ora ha veduto cristalli a tre assi. (*a*).

538. Fresnel ha trovato che nei cristalli a due assi non v'è

(*a*) Era stato riguardato come regola generale, che le linee le quali dividono in due parti eguali l'angolo compreso fra gli assi ottici, dovevano essere egualmente inclinate sulle facce corrispondenti del cristallo: ma Mitscherlich ha riconosciuto che in alcuni sali, e particolarmente nel solfato di magnesia, esse inclinano più da una parte che dall'altra.

raggio ordinario propriamente detto, ossia, che della luce la quale passa a traverso di tali cristalli, non se ne refrange nessuna porzione costantemente secondo la legge di Cartesio; il qual resultamento importante può provarsi in due maniere: 1.° prismi ad angoli eguali tagliati in un topazio in diverso senso non refrangono egualmente i raggi ordinarii: 2.° due lastre parallele e di grossezza eguale, prese da uno stesso cristallo di topazio, ma in sensi diversi, e situate in modo da ricever raggi, che con la loro interferenza producano alcune frange, spostano queste frange disegualmente, come meglio vedremo nell'articolo della diffrazione. Infatti se fossero eguali i poteri refrattivi di due lastre, le frange non sarebbero spostate disegualmente (*An. ch.*, t. 20, p. 338).

539. Ecco la costruzione con la quale Fresnel ha rappresentato la legge generale della doppia refrazione dei cristalli a due assi.

Due raggi, uno ordinario e l'altro straordinario, si muovono in un cristallo in una sola direzione: si cerca la loro velocità. A tale effetto, dice Fresnel, bisogna considerare un punto qualunque di questa direzione come il centro d'un ellissoide a tre assi diseguali, e quindi condurre per questo centro un piano perpendicolare alla direzione comune dei due raggi: le metà degli assi maggiore e minore della sezione ellittica, segnate dal piano sulla superficie, rappresentano le due velocità di propagazione, nell'ipotesi del sistema delle onde; e l'unità divisa per queste medesime velocità nel sistema dell'emissione. In quanto ai piani di polarizzazione (n.° 547) dei due fasci, essi sono respettivamente perpendicolari ai semi-assi dell'ellisse, che rappresentano le velocità.

540. La reflessione sulla prima superficie dei cristalli dotati della doppia refrazione, sembra che non produca sulla luce veruna modificazione particolare; e la legge è la stessa che per tutte le altre sostanze. Ma non è lo stesso per quella luce la quale dopo esser passata a traverso d'uno di questi cristalli, sulla seconda superficie prova una reflessione parziale; giacchè ogni raggio si biforca di nuovo, e così ne resultano quattro raggi.

541. Brewster aveva riconosciuto che il vetro, compresso, poteva acquistar la proprietà di colorare la luce polarizzata; anzi credette ancora di poter asserire, che la compressione o la dilatazione dava al vetro la struttura dei cristalli doppiamente refrangenti. Fresnel in seguito ha resa evidente questa refrazione, dividendo la luce in due fasci distinti, per mezzo di una combinazione di prismi di vetro compressi. Nella stessa esperienza ha trovato con certezza, che i due fasci sono polarizzati, uno parallelamente e l'altro perpendicolarmente alla direzione della compressione, e quindi la biforcazione della luce non può in questo

caso attribuirsi a refrazioni moltiplicate, prodotte dalle strie del vetro. Si vede che nel vetro compresso accade lo stesso che in un cristallo, l'asse del quale coincidesse con la direzione della compressione, come appunto Brewter aveva supposto, per l'analogia dei fenomeni della polarizzazione.

La *fig.* 392 presenta la disposizione dei vetri nell'esperienza di Fresnel. Questo dotto Fisico osserva, che debolissima essendo la doppia refrazione del vetro, compresso anco fino al punto di rompersi, un solo prisma non avrebbe prodotto che una divergenza ben poco sensibile; e però egli ha adoprati quattro prismi, indicati da A nella figura. I prismi son compressi per mezzo d'una morsa in un senso perpendicolare alle loro costole. Per renderli acromatici, e sopprimere nell'andamento della luce le deviazioni inutili all'esperienze, Fresnel ha posto fra loro tre altri prismi rovesciati B. Gli angoli refrangenti A e B son retti. Alle estremità dell'apparecchio sono due prismi C di 45°, per formare con i precedenti un parallelepipedo rettangolo. I diversi prismi son uniti fra loro con essenza di terebinto, che ha un potere refrangente poco diverso da quello del cristallo di S. Gobin col quale si formano i prismi. I prismi A oltrepassano alquanto gli altri prismi, affinchè questi non restino compressi mentre si comprimono gli altri. Un fascio di luce, entrando perpendicolarmente alla faccia di uno dei prismi estremi, produce due imagini, le quali alla distanza d'un metro non sono slontanate che di un millimetro e mezzo, il che prova la debolezza dalla doppia refrazione del vetro compresso (*An. ch.* t. 20, p. 376).

Applicazioni della doppia refrazione

Le due più importanti applicazioni che sieno state fatte della doppia refrazione, sono 1.° il micrometro di Rochon; 2.° l'uso di questo micrometro negli strumenti ottici, per misurare l'ingrandimento degli oggetti

Micrometro

542. Rochon imaginò questo strumento per misurare i diametri apparenti dei corpi celesti, ec. La parte di esso sulla quale prima di tutto bisogna fissar l'attenzione, è un doppio prisma rettangolare AA'CC' (*fig.* 393), formato di due prismi triangolari AA'C, A'CC', uniti con un sottile strato di terebinto. L'asse del cristallo del primo è parallelo ad AA', e quello del secondo è l'intersezione delle due facce A'C e A'C'.

Se un fascio SI cade su questo doppio prisma perpendicolarmente alla faccia AC, non soffrirà deviazione nella parte AA'C

Il fascio ordinario anco nel secondo prisma anderà in linea retta, perchè non cambia mezzo, giacchè lo strato d'essenza non influisce nulla sulla direzione del fascio. Il secondo cristallo respinge il fascio straordinario nella direzione l'E.

Si ponga ora un simil prisma in un canocchiale astronomico, di cui AB (*fig.* 394) è l'oggettivo: se con questo apparecchio si prenda di mira un oggetto lontanissimo, l'imagine rovesciata di esso sarà prodotta nel fuoco in FH; e tutto questo nella supposizione che il doppio prisma sia situato in modo, che le due imagini sieno a contatto l'una con l'altra, come lo rappresenta la figura.

Se il doppio prisma fosse più avvicinato all'oggettivo, le due imagini HF, H'F' (*fig.* 395) sarebbero separate. Finalmente se il doppio prisma fosse allontanato in modo da situare i punti a e a' nel fuoco, non si scorgerebbe più che una sola imagine.

Se F rappresenta la distanza focale OF, V l'angolo sotto il quale si scorge l'oggetto, sarà $\tan V = \frac{HF}{F}$; ma chiamando a l'angolo costante HaF, e D la distanza Ha, si ha egualmente $\frac{HF}{D} = \tan a$; dunque eguagliando i due valori di HF presi da queste due equazioni, avremo

$\tan V = \frac{\tan a}{F} D$ (Δ), dove $\frac{\tan a}{F}$ per uno stesso canocchiale è una quantità costante che bisogna determinare. Questa determinazione serve in tutte le osservazioni, e si ottiene nel modo seguente. Sia un oggetto (*fig.* 396) d'un raggio R, e situato alla distanza L, e sia V l'angolo sotto il quale si scorge;

sarà $\sin \frac{1}{2} V = \frac{R}{L}$.

Per aver D si mette il doppio prisma prima nel fuoco, e quindi in una situazione opportuna per mettere le due imagini a contatto. Una divisione segnata sul tubo del canocchiale, indica il cammino percorso dal prisma, che può spostarsi per mezzo d'una fessura longitudinale (*fig.* 397).

Le due quantità V e D debbon soddisfare al rapporto trovato di sopra, cioè dovrà essere $\tan V = \frac{\tan a}{F} D$, dalla quale equazione

si ha $\frac{\tang V}{D} = \frac{\tang a}{F}$; e se sieno noti V e D in numeri, sarà noto ancora $\frac{\tang a}{F}$. In ciascuna osservazione adunque resta da trovarsi la quantità D per aver la grandezza apparente di un astro o di qualunque oggetto lontano, perchè nell'equazione (Δ) tutto è noto, eccettuato V che se ne dedurrà.

Al di là del prisma è l'oculare, come nel canocchiale astronomico ordinario; e intanto non abbiamo parlato di esso, perchè non serve che ad ingrandire le imagini, e non influisce nulla sulla nostra dimostrazione.

Il canocchiale di Rochon può essere utilissimo per valutare la distanza di oggetti di nota grandezza. Primieramente si cerca la grandezza apparente per mezzo del canocchiale, e se la grandezza reale è 2R, avremo la distanza L dall'equazione $\sen \frac{1}{2} V = \frac{R}{L}$. Così può conoscersi per esempio la distanza d'un corpo d'armata, d'una città assediata, ec.

543. In questo ragionamento si suppone determinato prima l'angolo di deviazione del doppio prisma di cristallo di monte; ma facendo qualche osservazione, una tal determinazione può anco risparmiarsi. Per mezzo d'un canocchiale astronomico munito d'un doppio prisma, si voglia misurare il diametro di piccoli oggetti, senza conoscer l'angolo di deviazione. A tal effetto si prenderà una mira di nota grandezza, e si porterà il doppio prisma nel fuoco per avere una semplice imagine; e questo punto sarà lo zero della scala segnata sul tubo del canocchiale: si farà poi muovere il doppio prisma, finchè due imagini sieno ridotte a contatto. Supponiamo, per esempio, che l'oggetto comparisca sotto un angolo di 60″, e che il prisma sia allontanato 60 parti della scala dal punto zero: in tal caso ciascuna parte equivarrà ad un secondo. Si diriga ora il canocchiale sopra un oggetto d'un diametro noto; se per ottenere il contatto delle imagini, il prisma debba scorrere fino alla 30ma parte della scala, il diametro apparente dell'oggetto sarà 30″.

Si osservi però che l'uso del micrometro, quale lo ha costruito Rochon, ha molti inconvenienti, e fra questi i principali sono, che il prisma nel suo moto può inclinarsi sull'asse del canocchiale, e che produce alcuni colori; e appunto per questo secondo difetto lo stesso Rochon non si è servito del suo strumento per determinare il diametro del Sole e della

Luna, poichè il difetto d'acromaticismo è tanto più sensibile quanto il doppio prisma è più lontano dal fuoco.

544. Da questi due difetti è esente il micrometro d'Arago, il quale situa il doppio prisma fuori del canocchiale e dirimpetto all'oculare.

Se si guarda un disco d (*fig.* 398) con un canocchiale ordinario, si vedrà nel fuoco una sola imagine i; se si guarda quest'imagine con un prisma p, si vedranno nel fuoco due imagini i e i', separate una dall'altra da un intervallo eguale all'angolo costante ipi' del prisma. Se ora un oculare sia situato fra il doppio prisma e la doppia imagine, questa verrà più o meno ingrandita, e se questo oculare è composto di due lenti mobili, si potrà fare scorrere una di esse, finchè l'ingrandimento sia tale, che le due imagini sembrino a contatto. Sia A l'angolo di biforcazione del prisma, D il diametro apparente dell'oggetto, G l'ingrandimento dell'oculare: è chiaro che sarà $A = G \times D$, dal che si avrà $D = \frac{A}{G}$; e quindi quando sarà misurato l'angolo di biforcazione A del prisma, e si conoscerà l'ingrandimento G, si potrà sempre determinare il diametro apparente D dell'oggetto. I diversi ingrandimenti poi dell'oculare si otterranno con osservar dischi di diametro noto, e si segneranno sul tubo dell'oculare.

Misura dell'ingrandimento negli strumenti d'Ottica

545. Ricordiamoci primieramente che l'ingrandimento negli strumenti destinati a vedere gli oggetti lontani, è eguale al rapporto degli angoli sotto i quali lo stesso oggetto è veduto a occhio nudo e a traverso del canocchiale.

Arago misura questo ingrandimento per mezzo d'un doppio prisma, simile a quello di cui abbiamo parlato. In faccia all'oculare del canocchiale di cui vuol conoscere l'ingrandimento, pone un prisma, del quale l'angolo di biforcazione è A: allora guarda un disco che si può allontanare o avvicinare opportunamente, perchè sieno a contatto le due imagini che si veggono nel fuoco. Conoscendo la grandezza del disco e la distanza alla quale si trova dal canocchiale, si avrà il diametro D della grandezza della quale si vede. Sia dunque G l'ingrandimento del canocchiale; da ciò che abbiamo detto si avrà, per il micrometro oculare, $A = G \times D$, e quindi $G = \frac{A}{D}$.

Per aver l'angolo A di biforcazione del doppio prisma,

Arago guarda a occhio nudo a traverso del solo prisma una mira di noto diametro, posta ad una distanza nota, e a tale effetto si allontana o s'avvicina, finchè le due imagini sieno a contatto; e così trova A, poichè tang $A = \frac{D}{L}$, dove D è il diametro, ed L la distanza dell'oggetto.

Della Polarizzazione della Luce

546. In questo articolo ci proponiamo di far conoscere le proprietà che acquista la luce, tanto per la sua trasmissione a traverso di lastre dotate o non dotate della doppia refrazione, quanto per la sua reflessione sotto certe incidenze sopra le superficie levigate.

547. La luce passando a traverso d'un romboide di spato d'Islanda, e in generale a traverso d'un cristallo dotato della doppia refrazione, soffre un cambiamento nella sua natura. Infatti, 1.° se i due fasci che vengono da un primo cristallo cadono perpendicolarmente sopra un altro cristallo che abbia tutte le sue facce parallele a quelle del primo, non si vede veruna nuova divisione. Il fascio che deriva dalla refrazione ordinaria del primo cristallo, si refrange ordinariamente nel secondo; ed egualmente il fascio straordinario nel primo cristallo, rimane straordinario nel secondo.

2.° Quando le sezioni principali sono ad angolo retto, il fascio che deriva dalla refrazione ordinaria del primo cristallo è refratto straordinariamente dal secondo, e reciprocamente. In questo caso egualmente che nel precedente non vi sono che due imagini. Ma in tutte le situazioni intermedie alle due precedenti, ciascun fascio si divide in due altri nel secondo cristallo.

3.° I due fasci prodotti dalla trasmissione del fascio ordinario a traverso del secondo romboide non sono d'eguale intensità, se non in quanto che la sezione principale del primo fa un angolo di 45° con quella del secondo: per tutte le altre situazioni, i due fasci o le due imagini che essi producono, sono disegualmente intense, e anzi una di esse, e precisamente l'imagine straordinaria, svanisce interamente, quando la sezione principale del secondo romboide è parallela a quella del primo, e allora l'imagine ordinaria ha la massima chiarezza: quando le due sezioni principali sono ad angolo retto, svanisce l'imagine ordinaria, e l'imagine straordinaria acquista la massima chiarezza. L'opposto accade per il fascio straordinario.

548. Se in un romboide di spato d'Islanda, e perpendicolarmente alla sua superficie, si riceva un fascio reflesso da una lastra di vetro levigata e trasparente, sotto un angolo di 35° 25', contando dalla superficie, si osserverà che vi sono due situazioni, nelle quali questo fascio non soffre alcuna divisione per effetto del suo passaggio per il cristallo, cioè quando la sezione principale è parallela o perpendicolare al piano di reflessione. Il fascio trasmesso nel caso del parallelismo, ha le stesse proprietà del fascio che abbiam chiamato ordinario: e quello trasmesso nel caso di perpendicolarità ha tutte le proprietà del fascio straordinario.

Se si gira il cristallo si osserva, che le due imagini prodotte dal fascio, sono egualmente intense quando il piano di reflessione fa un angolo di 45° con la sezion principale del cristallo, e che per le altre situazioni le intensità sono tanto più diseguali, quanto più il piano di reflessione si allontana da 45°. Da queste esperienze resulta, che la luce reflessa sotto l'angolo di 35° 25' sopra una lastra di vetro pulito e trasparente, procede precisamente come il fascio ordinario escito da un cristallo, la principal sezione del quale fosse stata diretta nel piano di reflessione.

549. Sopra una seconda lastra di vetro CD (*fig.* 399) si riceva un fascio già reflesso da un'altra lastra AB sotto l'angolo di 35° 25', e si disponga la seconda in modo, che l'incidenza vi accada con un angolo eguale all'angolo d'incidenza sulla prima; si faccia inoltre girare CD, sicchè riceva il fascio luminoso sotto un angolo di 35° 25': in tal caso si osserverà, che quando il piano di reflessione sulla seconda lastra coincide col piano di reflessione sulla prima, l'intensità della luce reflessa dalla seconda è massima. Quando il secondo piano è diretto perpendicolarmente al primo, non v'è più luce reflessa. Dunque vi sono due situazioni in cui la luce reflessa è al massimo grado, e due altre in cui sparisce totalmente.

550. Queste esperienze ci fanno vedere, che la luce modificata dalla reflessione sotto un'incidenza particolare, o dal passare a traverso d'un romboide di spato d'Islanda, manifesta proprietà diversissime, secondo che vien presentata una superficie reflettente ad una o ad un'altra parte de' suoi raggi. Per questo il fenomeno è stato detto *polarizzazione*; e un raggio polarizzato presenta da ognuna delle sue facce proprietà particolari, mentre tutte le facce d'un raggio ordinario son dotate di proprietà perfettamente eguali. Da ciò siamo indotti a supporre che un raggio ordinario di luce sia composto, in un'estensione finita, d'un'infinità di porzioni infinitesime, ciascuna delle quali è polarizzata in un senso particolare; dimanierachè

questo raggio da qualunque parte si consideri, presenta, in una lunghezza finita, un numero eguale di porzioni infinitesime, similmente polarizzate. I fenomeni di polarizzazione per reflessione sono stati osservati per la prima volta da Malus.

551. Per convenzione, il *fascio reflesso dal vetro a* 35° 25′ è stato detto *polarizzato nel piano di reflessione; e il fascio ordinario escito da un romboide di spato d' Islanda*, è stato detto *polarizzato nel piano della sezione principale*. In conseguenza si dee dire del *fascio straordinario* che è *polarizzato perpendicolarmente alla sezione principale*, perchè abbiamo veduto che in questo senso esso presenta le stesse proprietà del fascio ordinario nel piano della sezione principale.

552. Fra gli altri resultamenti che ha ottenuti Malus dalle sue esperienze, egli ha osservato, che quando un fascio si polarizza completamente sulla prima superficie d' una lastra a facce parallele, il fascio refratto cade sulla seconda superficie sotto un angolo opportuno per la polarizzazione completa; dalla qual cosa si rileva, che il seno dell'angolo di polarizzazione sulla seconda superficie sta all' angolo di polarizzazione sulla prima, *nel rapporto dei seni degli angoli di refrazione e d' incidenza*.

Se sopra una lastra di vetro a facce parallele si diriga un fascio che non si refletta sulla prima faccia, esso non si refletterà neppure sulla seconda; e lo stesso accaderebbe sopra un sistema di due, tre, ec. lastre E se a tutto il sistema si facesse fare un quarto di rivoluzione, la luce in vece d' esser tutta trasmessa, sarebbe reflessa. Da ciò resulta questa conseguenza notabile, cioè che per una sola differenza di situazione, una riunione di lastre diafane di vetro può divenire alternativamente opaca o trasparente.

553. La porzione di luce trasmessa nell' esperienza del n.° 548, ha proprietà analoghe a quelle di cui è dotata la luce reflessa; se non che essa non è mai completamente polarizzata, se non nel caso in cui si faccia passare a traverso di più lastre parallele, poichè passando per un romboide di spato d'Islanda, produce sempre due imagini. È stato osservato ancora, che ricevuta questa luce sopra una seconda lastra trasparente, non svanisce se non in parte, mentre la luce polarizzata per reflessione attraversa completamente una seconda lastra che le venga presentata in una certa situazione (n.° 549). Finalmente essa produce le due imagini più chiare quando i due piani di reflessione son perpendicolari, e le meno chiare quando quelli son paralleli, il che è precisamente l' *opposto* di ciò che vien prodotto dalla *luce reflessa*.

Arago, con ingegnosissime esperienze ha trovato, che la quantità di luce polarizzata per reflessione, sulla superficie d'un corpo trasparente, è eguale a quella che si polarizza per refra-

zione. Il qual principio importante può generalizzarsi in questa maniera: ogni volta che la luce si divide in due fasci, senza che accada verun assorbimento, la stessa quantità di luce polarizzata nell'uno, si trova nell'altro polarizzata in una direzione perpendicolare.

554. La polarizzazione della luce può esser prodotta da tutte le sostanze diafane, e solamente sarà variabile l'angolo: per esempio, questo angolo è 35° per il vetro, e 37° per l'acqua. E a questo proposito Brewster ha scoperto una legge semplicissima, cioè che l'angolo sotto il quale si produce la polarizzazione completa, ha per tangente il rapporto del seno dell'angolo d'incidenza al seno dell'angolo di refrazione. Così $\tang i = \frac{\text{sen } i}{\text{sen } r} = l$, ma $\tang i = \frac{\text{sen } i}{\cos i}$; dunque $\cos i = \text{sen } r$, $\text{sen } i' = \cos r'$; dunque per l'angolo di polarizzazione il raggio reflesso e il raggio refratto sono *perpendicolari uno all'altro* (*fig.* 400). Rimane però ancora molto incerto se questa legge sia rigorosa.

Sotto le altre incidenze la polarizzazione non è che parziale, cioè la luce reflessa dà in tutte le situazioni due imagini a traverso d'un romboide di spato d'Islanda. Tuttavia è certo, che il massimo grado d'intensità di queste imagini corrisponde sempre alle stesse direzioni della sezione principale. Finalmente, quando i fasci sono perpendicolari o quasi paralleli alla superficie, la luce reflessa non presenta più veruna traccia di polarizzazione, ossia, la luce reflessa, nella sua trasmissione a traverso d'un romboide, produce due imagini egualmente intense in tutte le situazioni.

555. Molti corpi opachi non dotati di moltissimo potere refrattivo, quali sono il marmo, le vernici nere. ec., possono imprimere essi pure una polarizzazione completa nei raggi che essi reflettono regolarmente sulla loro superficie; mentre altri corpi perfettamente diafani o anco semi-trasparenti, ma dotati di moltissimo potere refrangente, come il diamante o il vetro d'antimonio, non la polirazzano mai completamente: ma in particolare i metalli sono meno atti d'ogni altra sostanza a polarizzare la luce, poichè la reflettono anco sotto le più favorevoli incidenze.

556. Arago e Fresnel hanno appreso dalle esperienze, che i raggi polarizzati non esercitano più veruna influenza gli uni sugli altri, quando i loro piani di polarizzazione sono perpendicolari fra loro, cioè non formano più veruna frangia, quantunque si combinino tutte le circostanze per farne nascere nei casi ordinarii, il che meglio spiegheremo fra poco col principio delle

interferenze. Che se in questi esperimenti si dispongono le cose in modo da fare sparire questa perpendicolarità, sempre in tal caso verranno a prodursi le frange.

557. Si sa che quando un fascio di luce polarizzata passa a traverso d'un romboide di spato d'Islanda, la principal sezione del quale è parallela al piano di polarizzazione, l'imagine straordinaria svanisce (n.° 548). Ma Arago l'ha veduta ricomparire ponendo davanti al romboide una lastra cristallizzata, dotata di doppia refrazione, e della quale la principal sezione non è nè parallela nè perpendicolare al primitivo piano di polarizzazione, anzi la sua intensità diviene eguale a quella dell'imagine ordinaria, quando questa sezione principale è inclinata 45° sul piano primitivo. In questo caso, come negli altri, le due imagini son bianche, se la lastra interposta è sufficientemente grossa, per esempio, se essendo cristallo di monte o solfato di calce, ha almeno un millimetro di grossezza: ma se è più sottile, le due imagini si colorano di mezze tinte, le quali cambiano di natura al cambiar della grossezza della lastra, e variano soltanto in intensità, quando si fa girar la lastra nel suo piano, lasciandola però sempre perpendicolare ai raggi incidenti. Del resto, intorno a questa scoperta hanno studiato molti Fisici; e Biot, Young e Brewster hanno contribuito più di chiunque altro a render nota la legge di questi fenomeni.

Biot ha osservato, che i colori delle lastre cristallizzate, seguono nelle loro grossezze alcune leggi analoghe a quelle degli anelli colorati, (n.° 572) cioè che *le grossezze di due lastre cristallizzate*, della stessa natura, che producono due colori qualunque, sono fra loro come *le grossezze degli strati d'aria* che reflettono colori simili negli anelli colorati.

558. Arago ha riconosciuto ancora, che *la luce* la quale emana dai corpi incandescenti, *se questi corpi son solidi o liquidi*, come platino rovente o vetro fuso, *è parzialmente polarizzata per refrazione*, quando i raggi osservati formano un angolo molto acuto con la superficie dalla quale escono. In quanto alla luce emanata dai gas accesi, questa, sotto qualunque inclinazione, non presenta veruna polarizzazione sensibile. Dal qual fatto Arago conclude, che una porzione considerevole della luce che ci fa vedere i corpi incandescenti, si forma nell'interno di quelli: inoltre fa vedere, che lo stesso mezzo d'osservazione può essere applicato allo studio della costituzione fisica del Sole, e i resultamenti che egli ha ottenuti dalle sue ricerche su questo proposito, confermano le congetture di Bode, di Schoëter e d'Herschel sull'*esistenza d'un'*

atmosfera solare. Gli aloni (n.° 619) possono servire d'analoga applicazione della polarizzazione.

Molti altri fatti esistono sicuramente sulla polarizzazione della luce, ma in quest'opera elementare dobbiamo limitarci solamente a far conoscere i più importanti (*a*).

Sistema delle Ondulazioni

559 Noi abbiamo spiegati i fenomeni d'ottica nell'ipotesi dell'emissione; ma prima di terminare la storia di questi fenomeni crediamo necessario il dare un'idea succinta d'un sistema adottato da molti Fisici, il quale da alcuni anni ha dato luogo a tante e sì belle ricerche.

Cartesio, Huyghens, Euler e molti altri Fisici hanno ammesso che la sensazione della luce è prodotta da ondulazioni eccitate in un mezzo molto elastico, che essi hanno chiamato *etere*, nel modo stesso con cui il suono vien trasmesso nell'aria e nei gas. Questo etere empie tutti gli spazii celesti, è estremamente sottile ed elasticissimo, penetra in tutti i corpi, e probabilmente esiste in essi in un grado particolare di densità per ognuno.

L'*intensità della luce* dipende dall'*intensità delle vibrazioni dell'etere*, e *la sua natura*, cioè la sensazione del colore che essa produce, dipende dalla *durata delle oscillazioni*, o dalla *lunghezza d'ondulazione*, che è sempre proporzionale a questa durata.

560. Lo scuotimento prodotto in un punto qualunque d'un fluido di densità e d'elasticità uniforme, deve propagarsi in tutti i sensi con la stessa velocità. Da ciò segue, che tutti i punti scossi in un medesimo istante, debbon essere sopra una superficie sferica, che ha per centro l'origine dello scuotimento. Questa superficie sferica è la superficie dell'onde.

Si chiamano *raggi* le linee rette condotte dal centro di scuotimento ai diversi punti di una tal superficie sferica. Queste rappresentano le direzioni della propagazione del moto.

L'*oscillazione luminosa* si compone d'un'andata e d'un ritorno: così una molecola d'etere essendo messa in moto nel senso *ab* (*fig.* 401), l'oscillazione è il cammino *ab*, più il cammino *ba*.

Per definire ciò che s'intende per *lunghezza d'ondulazione*, consideriamo ciò che accade nella massa fluida. Il moto

(*a*) Vedi *Opere di Malus*, e Ann. *de phys. et de chim.*

dal centro di scuotimento si propaga con moltissima velocità, ma non infinita: dunque vi saranno alcune porzioni del fluido tanto lontane dal centro di scuotimento, che saranno tuttavia in riposo, quando la molecola scossa la prima avrà fatta un'intera oscillazione. Questa distanza alla quale il moto comincerà a farsi sentire nel momento in cui la molecola situata nel centro di scuotimento sarà tornata nella sua prima situazione, e ripriucipierà una seconda oscillazione, è ciò che si chiama *lunghezza d' ondulazione.*

Inoltre, dalla definizione stessa resulta, che due molecole situate sopra uno stesso raggio luminoso, distanti fra loro la lunghezza d' un'intera ondulazione, continueranno per tutta la durata del moto ad avere negl' istanti medesimi eguali velocità, dirette nel medesimo senso. La *figura* 401 presenta le molecole *ab* e *a''b''* distanti un' intera ondulazione. Ad una distanza dal centro di scuotimento, eguale alla metà di ciò che abbiam chiamato lunghezza d' ondulazione, il moto oscillatorio comincia a farsi sentire nel momento in cui la prima molecola scossa, giunta all' estremità d' una semi-oscillazione, ritorna alla sua primitiva situazione con un moto in senso contrario. Dunque due molecole situate sopra un raggio luminoso ad una distanza eguale ad una semi-oscillazione, principieranno e continueranno a muoversi nei medesimi istanti con velocità eguali, e dirette in senso contrario.

Per comprendere questo cambiamento di segno nella direzione, sia *ab* (*fig.* 401) la prima molecola scossa; essa comunicherà il suo moto alla seconda molecola, quindi alla terza, e così di seguito. Ma poichè la seconda molecola non sarà scossa che dopo la prima, questa tornerà verso la sua primitiva situazione, quando l'altra oscillerà tuttavia nel senso primitivo *ab.* E poichè le molecole successivamente scosse sono in ritardo relativamente alle precedenti, vi sarà una molecola *a'b'* che comincerà a muoversi nel senso *a'b'*, quando la prima tornerà nel senso *ba.* La distanza CH è la semi-ondulazione.

Le onde luminose si propagano con una velocità uniforme, la quale è il rapporto costante dello spazio percorso al tempo impiegato nel percorrerlo. Sia dunque λ la lunghezza d' un' ondulazione luminosa, t il tempo che il moto impiega a propagarsi da un' estremità all' altra di questa ondulazione, e che in conseguenza è la durata d' un' oscillazione luminosa attiva. Sia D la distanza della Terra al Sole; T il tempo che la luce impiega a percorrere questa distanza, e finalmente sia A la velocità di propagazione della luce: avremo

$A=\frac{D}{T}=\frac{\lambda}{t}$, e quiudi $t=\frac{\lambda}{D}\times T$. Ma D=35000000 leghe,

$T = 8' 13''$, e le esperienze della diffrazione o degli anelli colorati, come vedremo, danno $\lambda = 0^{mm},00055$ per i raggi gialli: sostituendo dunque questi valori, si trova t in frazioni di secondi.

Non bisogna però confondere la velocità assoluta delle molecole del fluido con la velocità di propagazione del moto. La prima varia secondo l'ampiezza delle oscillazioni d'un' egual durata, mentre la seconda, la quale non è altro che la prontezza con cui il moto si comunica da uno strato all'altro, è indipendente dall' intensità delle vibrazioni. E questa la ragione per cui la luce intensa e la luce debole si propagano con *egual rapidità*.

Principio delle Interferenze

561. Il Grimaldi aveva osservata l'influenza scambievole dei raggi; ma il dottore Young è stato il primo a dimostrare, che in certe circostanze *luce aggiunta a luce fa nascere oscurità*, ed ha di più mostrata la legge di questo fenomeno singolare, il quale egli ha chiamato *fenomeno delle interferenze.*

Ecco in che consiste questa legge. Due raggi partiti da una sorgente comune, il che è condizione necessaria per la produzione del fenomeno, e che si incontrano in direzioni poco inclinate fra loro, si distruggono scambievolmente, quando fra le lunghezze delle vie che hanno percorso si contiene un numero impari di volte la lunghezza di una semi-ondulazione: quando al contrario la differenza delle vie percorse è nulla, oppure il loro intervallo contiene un numero pari di volte questa medesima lunghezza, i due raggi si rinforzano scambievolmente, e la luce che resulta ha il *massimo* grado di chiarezza.

L'oscurità prodotta dalla riunione di due raggi di luce, è una delle più forti obiezioni che sieno state fatte contro l'ipotesi dell' emissione.

Queste interferenze delle onde possono rassomigliarsi a ciò che accade in un'acqua tranquilla, allorchè vi si getta qualche corpo solido, dove ognuno ha osservato, che quando due gruppi d' onde s' incrociano sulla sua superficie, vi sono alcuni punti d' incontro in cui l' acqua resta immobile, ed altri in cui essa si alza o si abbassa visibilmente. I primi son quelli in cui in ogni sistema e in qualunque istante accaderebbe il moto in senso contrario e con velocità eguali, se ognuno di questi sistemi si propagasse isolatamente: negli altri i moti cospirano, e il liquido è spinto in basso o in alto da due onde egualmente o disegualmente intense. Fra questi due sistemi di punti d' un accordo perfetto e d'un'opposizione assoluta, gli uni dei quali presentano un' assenza totale del moto, e gli altri la massima oscillazione del liquido, esiste un' infinità di punti intermedii, nei quali le ondu-

lazioni si eseguiscono con maggiore o minore energia, secondo che più si avvicinano all' accordo perfetto o all' opposizione dei due moti che vi si incontrano.

Quantunque le onde che si propagano in un fluido elastico sieno diversissime da quelle di cui trattiamo relativamente alla luce, in quanto che queste dipendono dall' elasticità del fluido, mentre le prime dipendono dalla gravità del liquido, tuttavia i resultamenti prodotti dalle interferenze sono perfettamente analoghi.

Nelle onde formate sulla superficie d'un liquido, l' oscillazione si fa verticalmente, mentre le onde si propagano orizzontalmente. Fino a questi ultimi tempi i Fisici erano stati d' opinione, che le oscillazioni luminose si facessero nel senso stesso della propagazione delle ondulazioni, come sembra accadere nelle onde sonore Ma le esperienze di Arago e di Fresnel, che abbiamo riportate di sopra (n.° 556), hanno indotto a pensare, che la direzione delle oscillazioni è perpendicolare alla direzione secondo la quale si propaga la luce. E ciò infatti combina con le esperienze e con i calcoli di Fresnel sulla quantità della luce riflessa da una lastra di vetro non amalgamato, quando questo raggio incidente è polarizzato in diversi sensi, e forma angoli diversi con la superficie riflettente.

562. Fra i diversi esperimenti opportuni per produrre il fenomeno delle interferenze, ci sembra preferibile il seguente, che prendiamo dagli scritti di Fresnel.

Sopra due specchi poco inclinati fra loro, si fanno cadere i raggi divergenti che emanano da uno stesso punto luminoso: i raggi son reflessi in modo da produrre due fasci che si incontrano ad angolo acutissimo. Da questa piccola obliquità resulta, che se una semi-ondulazione del primo sistema coincide perfettamente in un punto con una semi-ondulazione del secondo che spinge il fluido nel medesimo senso, quella si separa da questa a sinistra e a dritta d' un tal punto d' intersezione, e un poco più lungi coincide da una parte con la semi-ondulazione del moto contrario che precede questa, e dall' altra con quella che la segue: quindi se ne separa di nuovo, e ad una distanza doppia della prima, nuovamente coincide con due semi-ondulazioni, gl' impulsi delle quali agiscono nel medesimo senso di essa; per la qual cosa, sulla superficie di quest'onda, resulta una serie di linee egualmente separate, sulle quali il suo moto è alternativamente distrutto e rinforzato dalle onde dell' altro fascio; dimanierachè se si riceve quest' onda luminosa sopra un cartone bianco, dovremo vedere su quello una serie di strisce oscure e brillanti, se la luce è omogenea, o di colori diversi, se si fa l' esperienza con la luce

bianca, poichè i punti in cui si accordano i raggi non saranno gli stessi per i diversi colori.

La *figura* 402 rappresenta una sezione dei due specchi e delle onde reflesse, fatta da un piano condotto dal punto luminoso perpendicolarmente a questi specchi proiettati in ED e DF. Il punto luminoso è in S; A e B rappresentano le situazioni geometriche delle due imagini di esso, determinate, come indicammo altrove (n.° 438), conducendo alcune perpendicolari SB, SA, e prendendo QB=SQ e AP=SP. Infatti, appunto verso A e B così determinate, convergono i raggi reflessi sul primo e sul secondo specchio, a forma della legge di reflessione. Così per avere il raggio reflesso in un punto G qualunque dello specchio DF, basta unire B e G con una retta, e questa retta prolungata sarà il raggio reflesso. Ora, per la costruzione con cui abbiamo avuto la situazione del punto B, le distanze SG e BG sono eguali; e quindi il cammino totale percorso dal raggio partito dal punto S, e che arriva in *b*, è assolutamente lo stesso, come se il raggio fosse partito dal punto B. E poichè questa conseguenza si applica a tutti gli altri raggi reflessi dallo stesso specchio, essi dovranno arrivare nel tempo medesimo sulla circonferenza *n'bm*, descritta dal punto B col raggio B*b*. Questa circonferenza rappresenterà dunque l'intersezione della superficie dell'onda reflessa arrivata in *b*, e del piano della figura. Le onde reflesse dallo specchio ED avranno similmente il loro centro in A.

Per rappresentare i due sistemi d'onde reflesse, dai punti A e B come centri si descrivono archi di circolo, separati gli uni dagli altri con un intervallo costante, eguale ad una semi-oscillazione. Per distinguere i diversi moti, son segnati con linee piene gli archi di circolo sui quali le molecole eteree si suppongono sollecitate dalla massima velocità in avanti, e con linee punteggiate quelle degli archi sui quali esse hanno la massima velocità indietro. Da ciò segue, che le intersezioni degli archi di circolo punteggiati con gli archi pieni, sono i punti di discordanza assoluta, e in conseguenza i punti di mezzo delle strisce oscure; e al contrario le intersezioni degli archi simili danno i punti d'accordo perfetto, o i punti di mezzo delle fasce brillanti. Le intersezioni corrispondenti degli archi della stessa specie son unite con linee punteggiate *bp*, *b'p'*, *b'p'*: e le intersezioni corrispondenti degli archi di specie contraric, son unite con linee piene *no*, *n'o'*, *n'o'*. Si osservi però, che nella figura la lunghezza reale delle onde luminose e l'inclinazione respettiva dei due specchi son rappresentate molto più grandi del vero.

563, Per mezzo di semplicissime considerazioni geometriche possiamo rilevare, che la larghezza di queste frange è in ra-

gione inversa della grandezza dell' angolo dei due fasci interferenti, e che l' intervallo fra i punti di mezzo di due fasce oscure o di due fasce brillanti consecutive, è eguale alla lunghezza d' ondulazione divisa per il seno dall' angolo sotto il quale si incrociano i raggi. Infatti il triangolo *bni*, formato dalla linea retta *bi* e dai due archi di circolo *ni* ed *nb*, può considerarsi come rettilineo e isoscele, attesa la piccolezza di questi archi; e il seno dell' angolo *bni*, attesa la piccolezza di questo angolo, è sensibilmente eguale ad $\frac{ib}{bn}$; dunque

$bn = \frac{ib}{\text{sen } bni}$. Ma l' angolo *bni* ha i suoi lati perpendicolari a quelli dell' angolo A*b*B, poichè *bn* è perpendicolare ad A*b*, ed *ni* a B*b*; dunque questi due angoli sono eguali, e può sostituirsi uno all' altro: quindi chiamando *i* l' angolo A*b*B sotto il quale si incrociano i raggi reflessi, si ha $bn = \frac{ib}{\text{sen } i}$; dunque *nn* che è il doppio di *bn*, sarà eguale a $\frac{2\,ib}{\text{sen } i}$. Ora *nn* è la distanza fra i punti di mezzo di due fasce oscure consecutive, e in conseguenza è ciò che si chiama larghezza d' una frangia; e poichè *ib*, secondo la costruzione della figura, è la lunghezza d' una semi-ondulazione, 2*ib* è la lunghezza d' un' ondulazione intera: dunque *la larghezza d' una frangia* è effettivamente *eguale alla lunghezza d' ondulazione, divisa per il seno dell' angolo che fanno fra loro i raggi reflessi*, il quale è pur l' angolo sotto cui si vedrebbe l' intervallo AB compreso fra le due imagini del punto luminoso, situando l' occhio in *b*.

Della Reflessione e della Refrazione

564. Ci resta ora da far vedere come possa spiegarsi la reflessione e la refrazione della luce, nell' ipotesi delle ondulazioni. Principiamo dalla reflessione.

La legge di questo fenomeno è, che l' angolo di reflessione è eguale all' angolo d' incidenza: bisogna dunque dimostrare che deve realmente esser tale, secondo la natura di cui supponiamo la luce, nel sistema delle ondulazioni.

Sieno FG, ED (*fig.* 403) due raggi che cadano sopra una superficie AB, partiti da uno stesso centro d' oscillazione,

In una camera oscura egli fa cadere i raggi d'un punto luminoso sopra uno specchio metallico, affumicato sulla superficie superiore, eccettuato uno spazio alquanto lungo e stretto, compreso fra due linee che fanno fra loro un angolo acutissimo, dimanierachè la larghezza dello spazio reflettente va continuamente scemando fino al punto di concorso dei suoi orli. Se si riceva sopra un cartone bianco la luce reflessa, si osserverà che il fascio reflesso dalla parte vicina al vertice dell'angolo, è molto più largo di quello che viene dalla parte opposta; e quindi la divergenza dei raggi reflessi è tanto maggiore, quanto più stretto è lo spazio reflettente.

Questo modo di spiegar la reflessione giova ancora per far concepire una chiara idea di ciò che forma la levigatezza di uno specchio.

565. La legge della refrazione si spiega in una maniera analoga. Sia AB (*fig.* 404) la superficie di separazione dei due mezzi; sieno FG ed ED i raggi incidenti, partiti da un punto lontanissimo, e in conseguenza paralleli fra loro Se per il punto G conduciamo la linea GI perpendicolare ai raggi incidenti, i moti corrispondenti delle ondulazioni di questi due raggi arriveranno nel tempo stesso in G e in I: parimente se consideriamo i raggi refratti paralleli GK e DL, partiti dai punti G e D, e se conduciamo la perpendicolare DM, affinchè i due raggi sieno d'accordo, bisognerà che l'intervallo GM sia percorso nel tempo stesso in cui è percorso l'intervallo ID. A tal effetto bisogna, come chiaramente si vede, che questi due spazii sieno nello stesso rapporto delle velocità di propagazione, o delle lunghezze d'ondulazione della luce nei due mezzi: quindi chiamando l, l' le lunghezze d'ondulazione nel primo e nel secondo mezzo, dovremo avere GM : DI :: l' : l, ma ID=GD sen IGD, e GM=GD sen GDM; ora IGD=IDP, angolo d'incidenza, e GDM=QDL, angolo di refrazione, dunque sen i : sen r :: l : l'; e da ciò segue, che l'accordo dei raggi richiede, che i seni dell'angolo d'incidenza e dell'angolo di refrazione sieno nel rapporto delle lunghezze delle ondulazioni, cioè in un rapporto costante per lo stesso mezzo nella teoria delle onde, che è appunto la nota legge.

In questo caso pure, come nel precedente si dimostrerebbe, che debbon distruggersi tutti quei raggi per i quali non ha luogo un tal rapporto.

Del resto, le leggi della reflessione e della refrazione che abbiamo indicate, son dedotte dalla memoria di Fresnel (*An. chim.* t. I e XXI); ma altre spiegazioni erano già state date da Huyghens e dopo di lui da Euler.

Bisogna però osservare, che il rapporto trovato fra i seni degli angoli d'incidenza e quelli di refrazione, combina perfettamente con ciò che otterremo per gli anelli colorati, i quali ci faranno vedere, che le lunghezze d'ondulazione di una stessa specie di luce in due mezzi diversi, sono nello stesso rapporto dei seni degli angoli d'incidenza e di refrazione, per il passaggio della luce dall'uno nell'altro mezzo.

Sulla disputa fra Poisson e Fresnel, relativamente alla teoria delle onde, gioverà consultare gli *An. ch.*, t. XXIII.

Della Diffrazione

566. Per *diffrazione* della luce si intendono quelle modificazioni che essa prova nel passare in vicinanza delle estremità dei corpi.

Queste modificazioni sono state per la prima volta osservate e studiate diligentemente dal Grimaldi. Se si fa entrare un fascio di luce in una camera oscura per un piccolissimo foro, si osserva che le ombre dei corpi in vece d'esser terminate in un modo deciso e distinto, come dovrebbe accadere se la luce andasse sempre in linea retta, compariscono con tre frange colorate distintissime e di varie larghezze, e che vanno scemando dalla prima alla terza: anzi quando il corpo interposto è molto stretto, come un sottil filo di ferro, si scorgono alcune frange anco nella sua ombra, la quale allora sembra divisa da fasce oscure e da fasce più chiare, poste a distanze eguali le une dalle altre. Queste si dicono frange *interne*, e le prime, frange *esterne*.

Riduciamo alla pratica questa osservazione. Supponiamo che il foro per il quale si fa entrare il fascio di luce, sia fatto in una foglia metallica, ed abbia un diametro d'un decimo di millimetro al più: supponiamo inoltre che per mezzo d'uno specchio piano questo fascio luminoso sia reflesso in una direzione orizzontale. Ora se alla distanza d'un metro si ponga un filo di ferro che abbia un diametro d'un millimetro, alla distanza di tre metri dal foro, e in conseguenza di due metri dal filo, si avrà l'ombra di questo sopra un cartone. Se il foro fosse piccolissimo, e se il punto luminoso fosse un punto matematico, l'ombra del filo proiettata sul cartone, avrebbe tre millimetri di larghezza (*fig.* 405). Ma nella nostra esperienza la larghezza del foro scema l'ombra pura; e poichè il diametro di questo foro è un decimo di millimetro, i raggi estremi partiti dagli orli, son lontani un ventesimo di millimetro dai raggi partiti dal centro; e poichè la distanza del cartone dal filo di ferro è doppia della distanza di

questo filo dal punto luminoso, l'ombra pura (*fig.* 406) sarà un decimo di millimetro da ogni lato, e sarà ridotta a $2^{mm},8$. Questo spazio sarebbe assolutamente privo di luce, se i raggi non provassero alcuna inflessione nell'interno; ma osservando attentamente in questa esperienza, si scoprono nell'ombra pura alcune fasce alquanto illuminate. È cosa singolare che queste frange interne sieno sfuggite all'occhio di Newton, il quale dopo il Grimaldi si occupò nello studiare il fenomeno della diffrazione.

È difficile spiegare le frange interne ed esterne nel sistema dell'emissione, poichè secondo questo sistema sembrerebbe che la natura e la forma dei corpi dovessero influire sul fenomeno. Tuttavia esatte esperienze ci provano, che le fasce diffratte hanno lo stesso chiarore e la stessa disposizione, o vengan prodotte sulla costola o sul taglio d'un rasoio. A questa esperienza che è di Fresnel si aggiungono anco quelle di Malus e Bertholet, i quali hanno trovati sensibilmente eguali gli effetti diffrattivi delle diverse materie.

Un altro resultamento che non sembra conciliarsi con quel sistema si è, che le frange presentano una curvatura sensibile per molti metri di lunghezza.

567. Young con una semplicissima esperienza ha dimostrato, che per la formazione delle frange situate nell'interno, era necessario il concorso di due fasci luminosi. Quest'esperienza consiste nell'intercettare con una ventola tutta la luce che viene da uno dei lati del corpo stretto, per la quale interposizione le frange interne spariscono totalmente. Nell'ipotesi dell'emissione, poichè ogni fascio sparge nell'interno dell'ombra una luce continua, la riunione di due fasci dovrebbe produrla egualmente, se questi fasci si mescolassero semplicemente, e non esercitassero veruna influenza l'uno sull'altro.

Lo stesso Fisico ha dimostrata ancora l'influenza scambievole di due raggi luminosi, facendo passare la luce d'un punto raggiante per due fori vicinissimi. Nella parte intermedia egli osserva alcune linee oscure ed alcune brillanti, che evidentemente resultano dall'azione reciproca di questi due fasci, perchè se si chiuda un foro, esse spariscono totalmente.

568. Young aveva spiegata la formazione delle frange esterne per mezzo dell'interferenza dei raggi diretti e dei raggi reflessi sugli orli. La citata esperienza di Fresnel fatta sul rasoio è contraria a questa spiegazione; poichè se la spiegazione fosse fondata, la costola del rasoio reflettendo più luce del taglio, produrrebbe alcune linee più brillanti, il che non accade: infatti le frange prodotte nei due casi, hanno sensibilmente la stessa intensità, almeno quando non si osservano in troppa vicinanza del rasoio.

Fresnel per spiegare queste frange, partendo dal principio dei piccoli moti, considera ciascun punto dell'onda luminosa incidente, come un centro d'ondulazione, che tramanda raggi in direzioni diverse, i quali raggi sono sicuramente molto più intensi nel senso del moto primitivo, che nelle direzioni le quali si allontanano molto da quella; ma per la spiegazione e per i calcoli che se ne deducono, basta che questi raggi possano riguardarsi come quasi egualmente intensi, per piccole inclinazioni. Calcolando l'intensità della luce che resulta dall'influenza scambievole di tutti i raggi elementari partiti dai varii punti dell'onda incidente, questo dotto accademico ha trovato, che dovevano esservi realmente alcune strisce brillanti ed altre oscure, fuori dell'ombra dei corpi e nell'interno di essi, quando sono strettissimi. In quanto poi alla situazione e alla larghezza delle frange, tanto dal calcolo quanto dall'osservazione si ottengono gli stessi resultamenti.

569. Per misurare la larghezza delle frange degli archi delle ombre, Fresnel si serve d'una piccola lente mobile, nel fuoco della quale è adattato un filo sottilissimo, che serve di punto di mira, e del quale si valutano gli spostamenti per mezzo d'un verniero o d'una vite micrometrica. Determinando le distanze che separano le fasce dello stesso ordine dei due lati dell'ombra del corpo, e paragonando queste distanze coi varii punti delle curve, si vede che le frange esterne, oscure o colorate, nel loro tragitto seguono altrettante iperbole di curva molto sensibile, il che si accorda benissimo con la propagazione della luce in linea retta.

570. Queste esperienze sulla diffrazione sono state fatte con la luce semplice e con la luce solare. Nel primo caso si ottengono frange oscure e frange del colore adoprato; nel secondo, le frange oscure e brillanti presentano una successione di tinte simili a quelle degli anelli colorati. (V. *An. ch.* t. 11, e la *Mem.* di Fresnel *sulla diffraz.*)

571. Riporteremo ancora un'esperienza di Arago, con la quale egli dimostra l'influenza delle vie percorse relativamente alla concordanza dei raggi, e che dà il mezzo di misurare le minime differenze di potere refrangente dei corpi, con una precisione per così dire indefinita.

Le frange prodotte da due fessure strettissime, son sempre situate in una maniera simmetrica, relativamente al piano condotto per il punto luminoso e il mezzo dell'intervallo compreso fra le due fessure, finchè i due pennelli interferenti di luce abbiano attraversato lo stesso mezzo, quale sarebbe l'aria nel caso ordinario degli apparecchi. Ma se uno dei fasci ha attraversato l'aria soltanto, e l'altro sul cammino che per-

corre incontra un corpo più refrangente, come una parete sottile di vetro soffiata alla lucerna, ec., allora le frange sono spostate, e portate dal lato del fascio che ha attraversata la lastra trasparente; e anzi quando questa è alquanto grossa, esse escono dallo spazio illuminato, e spariscono. Questa esperienza può realizzarsi con l'apparecchio dei due specchi, mettendo la lastra sottile sulla via per cui deve passare uno dei fasci prima o dopo la reflessione.

Ecco ora la conseguenza che si deduce da questo fatto importante. Il mezzo della fascia centrale proviene dall'arrivo contemporaneo dei raggi partiti nel tempo stesso dal punto luminoso; dunque essi nel caso ordinario hanno attraversato lo stesso mezzo, ed hanno percorso strade eguali: ma se uno dei due fasci nel cammino soffre una diminuzione, arriverà più tardi al punto di concorso, che non sarà più il mezzo della fascia centrale, e questa si avvicinerà al fascio che ha corso più lentamente, e vice-versa quando le frange son portate a destra o a sinistra. Da ciò si conclude, che il fascio dalla parte del quale queste frange si sono inoltrate, è stato ritardato nel suo corso. Così da questa esperienza segue naturalmente, che la luce si propaga più rapidamente nell'aria che nel vetro e nei corpi più refrangenti dell'aria. Il qual resultamento è opposto alla teoria di Newton, secondo la quale le molecole luminose essendo potentemente attratte dai corpi densi, debbon in essi acquistare una maggior velocità che nei corpi rari. Supponiamo ora che per mezzo dello sferometro (n.° 55) si determini la densità della lastra sottile, e che con un micrometro si misuri lo spostamento delle frange: in tal caso, sapendo che prima dell'interposizione della lastra, le vie percorse erano eguali per il mezzo della fascia centrale, si potrà col calcolo determinare la differenza delle loro lunghezze per la nuova situazione di essa, la qual differenza sarà il ritardo provato dalla luce nella lastra di vetro di nota grossezza. Questa grossezza aggiunta alla differenza calcolata, sarà eguale al cammino che percorreva uno dei fasci nell'aria, mentre l'altro percorreva la lastra di vetro. Il qual cammino, paragonato alla grossezza della lastra di vetro, darà il rapporto della velocità della luce nell'aria alla velocità della medesima nel vetro.

Il processo d'Arago è molto preferibile al metodo diretto, nel caso in cui si tratta di determinare non grandi velocità della luce in mezzi che la refrangono quasi egualmente. Per dare un'idea della precisione di questo processo, basterà osservare, che la lunghezza delle ondulazioni dei raggi gialli nell'aria è $0^{mm},00055$; e quindi in $1^{m},10$ ne esistono 2000000;

poichè $\frac{1^m,10}{0^{mm},00055}$=2000000. Ora è facile scorgere una differenza di $\frac{1}{5}$ di frangia, che corrisponde ad un ritardo o ad un' accelerazione di $\frac{1}{5}$ d'ondulazione nel corso della luce; e poichè 2000000 ne sono in $1^m,10$, $\frac{1}{5}$ d'un' ondulazione non sarebbe che la dieci-milionesima parte di questa lunghezza. Arago e Fresnel, facendo passare la luce a traverso d'un tubo a $1^m,10$ pieno successivamente d'aria asciutta e d'aria saturata d'umido a 30°, hanno trovato che il vapor d'acqua ha un potere refrangente maggiore di quello dell'aria.

Storia sperimentale degli Anelli colorati

Primieramente faremo l'esposizione sperimentale dei fenomeni conosciuti sotto il nome di *anelli colorati*, quindi spiegheremo questi fenomeni, 1.° nel sistema dell'emissione quale è stata proposta da Newton, 2.° nel sistema delle onde.

572. Se in una camera oscura si riceva un fascio elementare, e si diriga sopra una lente posta prima sopra un vetro piano, si osserveranno i fatti seguenti (*fig.* 407).

Essendo l'occhio situato in modo da non ricevere se non la luce trasmessa per reflessione, si vedrà una macchia nera nel punto di contatto della lente col piano di vetro; questa macchia sarà circondata da un anello colorato; accanto a questo sarà un anello oscuro, a questo succederà un anello colorato, e così di seguito; e questa successione di anelli colorati e oscuri sarà costante, qualunque sia il colore del fascio che si sperimenta.

Se l'occhio sia situato in modo da ricever la luce per trasmissione, il colore osservato nel punto di contatto sarà quello del fascio elementare; quindi verrà un anello oscuro, e poi uno colorato, ec. (*fig.* 408).

Per ottenere un fascio elementare, si riceve un fascio solare sopra un prisma convenientemente disposto, e per mezzo d'un cartone si intercettano tutti i colori eccettuato uno solo.

573. Sarebbe quasi impossibile misurar direttamente le grossezze degli strati d'aria che producono i diversi anelli tanto oscuri che colorati, ma basta conoscere i diametri per determinare queste grossezze. Infatti, sia MCN (*fig.* 409) il vetro piano, ECA la base inferiore del vetro convesso, il diametro del quale è CD: se si considerano due anelli, i raggi dei quali sieno BA e B'A', le grossezze corrispondenti degli strati d'aria saranno CB e CB'. Ora, per la proprietà del circolo si ha $BD \times CB = BA^2$; $B'D \times CB' = B'A'^2$, e quindi

CB : CB′ : : BA^2 : B′A′^{2} : poichè i fattori BD, B′D son linee quasi eguali, possono eliminarsi dal rapporto senza alterarlo. Da questo calcolo resulta, che le grossezze degli strati sono come i quadrati dei diametri. Newton avea misurati i diametri degli anelli colorati reflessi, ed avea trovato che i loro quadrati erano come i numeri 1, 3, 5, 7, ec.

I quadrati dei diametri degli anelli colorati trasmessi, sono stati trovati nel rapporto dei numeri 2, 4, 6, 8, ec. Dunque le grossezze degli strati d'aria che lasciano reflettere uno stesso colore, seguono fra loro i rapporti 1, 3, 5, 7, 9, ec.; e le grossezze di quelli che li trasmettono, sono nei rapporti 2, 4, 6, 8, 10, ec.; nella qual serie bisogna comprendere la grossezza nulla del centro, poichè il colore è sempre trasmesso nel punto di contatto della lente col piano di vetro. Tutti questi numeri son relativi ai punti più brillanti o più oscuri.

I rapporti sono gli stessi per tutti i colori e per tutte le sostanze; se non che per ogni colore e per ogni sostanza, il valore assoluto d'una grossezza d'un dato ordine è espresso da un numero particolare. Così gli anelli formati dal color rosso hanno diametri sensibilmente maggiori degli anelli formati dal color violetto.

574. Se si espone l'apparecchio alla luce bianca, i diversi colori semplici formano tutti nel tempo stesso i loro anelli; ma poichè questi anelli hanno diversi diametri, si sorpassano l'un l'altro, e da ciò appunto nascono le serie successive degli anelli sempre meno intensi quanto più si allontanano dal centro, finchè divengono impercettibili. Per mezzo d'un prisma possiamo però assicurarci che esistono realmente, giacchè guardandoli a traverso di esso si scorge un numero di raggi molto maggiore che a occhio nudo, perchè quelli che erano troppo ravvicinati, essendo disegualmente spostati per effetto della refrazione, si trovano separati quanto basta per esser distinti gli uni dagli altri.

575. Conoscendo il diametro della sfera alla quale appartiene la lente convessa, col calcolo si determina il valore assoluto d'una grossezza per un colore sottoposto all'esperimento. Infatti (n° 573) una grossezza $CB = \frac{BA^2}{BD}$, dove BA è il diametro dell'anello che si misura direttamente, e BD è pochissimo diverso dal diametro della sfera alla quale appartiene la lente. Così Newton ha trovato che per una lente convessa appartenente ad una sfera di 182 pollici di diametro, il primo anello oscuro corrisponde ad una grossezza di $\frac{1}{88739}$ di pollice.

576. Se si metta un poco d'acqua fra la lente e il vetro piano, si osservano sempre gli anelli, i quali però son più ravvicinati al centro; e se si misurano i diametri di due anelli d'uno stesso ordine e d'uno stesso colore prodotti dall'acqua e dall'aria, si trovano nel rapporto di 7 a 8, e quindi le grossezze degli anelli sono come 49 a 64, o come 3 a 4 incirca, cioè nel rapporto del seno d'incidenza al seno di refrazione, quando la luce passa dall'aria nell'acqua. Newton suppone questa legge generale: la grossezza d'una lastra sottile che reflette un certo colore, sta alla grossezza dello strato d'aria che reflette lo stesso colore, nel rapporto del seno di refrazione al seno d'incidenza, quando la luce passa dall'aria nel corpo.

Alcuni corpi solidi come la mica e il solfato di calce, possono ridursi tanto sottili da produrre i colori degli anelli, e si determina la grossezza d'una lastra dal colore che essa produce, se prima si conosca il rapporto di refrazione della sostanza.

577. La considerazione degli anelli colorati, prodotti da uno strato d'acqua, ha dato luogo ad un'osservazione importante, cioè che i diametri di questi anelli non variano in un modo sensibile al variare dell'inclinazione dei raggi che li producono, mentre quelli degli anelli formati da uno strato d'aria scemano in proporzione dell'aumento dell'obliquità. Per vedere la ragione di questa differenza basta osservare, che il raggio di luce il quale arriva sulla lastra sottile, esce dal vetro, e si allontana poco dalla sua direzione primitiva quando attraversa uno strato d'acqua, dimanierachè il cammino percorso fra i due vetri sarà presso a poco lo stesso, qualunque sia l'inclinazione; e poichè appunto il cammino percorso determina la produzione di tale o tal altro colore, è chiaro che il colore dovrà variare ben poco al variare dell'obliquità dei raggi; mentre per uno strato d'aria, il raggio si allontana molto dalla sua direzione primitiva, allontanandosi dalla perpendicolare; e da ciò resulta che esso diviene più obliquo, e che per percorrere lo stesso cammino fra i due vetri, bisogna che gli attraversi in maggior vicinanza al punto di contatto, il che scema il diametro degli anelli colorati.

578. Newton chiama *accessi di facile reflessione* le disposizioni successive e periodiche che ha uno stesso raggio ad esser reflesso dalle diverse grossezze d'una lastra, d'una sostanza qualunque; e *accessi di facile trasmissione* le disposizioni d'uno stesso raggio ad esser trasmesso per le grossezze intermedie. Quindi, chiamando e la minor grossezza d'un corpo capace di reflettere il raggio giallo, questo raggio è in un accesso di facile reflessione per tutte le grossezze $3e$, $5e$, $7e$, ec., e parimente è in un accesso di facile trasmissione, quando la grossezza della lastra che lo riceve è nelle serie $2e$, $4e$, $6e$, ec.

Vi sono molti fenomeni analoghi agli anelli colorati: così alcune pietre, come l'opale, ec., che hanno alcune fessure piene d'aria o di qualunque altro fluido, presentano colori molto variati, i quali spariscono quando il corpo vien ridotto in polvere.

579. Da tutti questi fatti Newton ha dedotte importantissime conseguenze, relativamente alla colorazione dei corpi. Secondo lui, le particelle di tutti i corpi, e inclusivamente di quelli che chiamiamo opachi, sono realmente trasparenti. I metalli stessi, che sembrerebbero presentare un'eccezione, se si sciolgano per mezzo di acidi, divengono essi pure permeabili alla luce.

Le particelle dei corpi son separate da interstizii pieni di diversi fluidi. Queste particelle, cioè alcuni piccoli sistemi separati gli uni dagli altri, e composti ciascuno d'un certo numero di molecole integranti, avendo una grossezza determinata per ciascun corpo, respingono i raggi i quali, nel penetrarle, si trovano in un accesso di facile reflessione, e quindi il corpo prende il colore dei raggi semplici o mescolati che ha reflessi, e gli altri raggi son trasmessi o assorbiti.

La gran densità delle particelle dei corpi, relativamente a quella dei fluidi circostanti, è la causa della permanenza del colore nei corpi stessi. Che se al contrario la densità del corpo è poco diversa da quella del mezzo circostante, il colore varia al variare dell'inclinazione, come appunto si osserva nelle penne di alcuni uccelli.

Certi corpi sono opachi, perchè assorbiscono ed estinguono la luce, e perchè molte sono le reflessioni che essa prova nel loro interno, a motivo della troppo grande differenza che passa fra la densità delle loro particelle e quella del fluido da cui son circondate. In prova di ciò, ecco una semplice esperienza. Se si empia un bicchiere di pezzi di borace, che è una sostanza trasparente, la luce non passerà che difficilmente a traverso della massa dei piccoli frammenti di borace. Se vi si versa un poco d'olio di oliva, che ha una densità poco diversa da quella del borace, la mescolanza del borace con l'olio divien trasparente. Nel medesimo modo si spiega l'opacità delle nubi.

580. La spiegazione degli anelli colorati nel sistema delle onde sembra più naturale. Infatti, si sa che quando un fascio di luce *Si* (*fig.* 410) cade sopra una lastra trasparente, prova una reflessione parziale sulla prima superficie, un'altra sulla seconda, e finalmente una terza porzione attraversa la lastra. I due raggi *iC* e *C'i*, reflessi uno sulla prima superficie, l'altro sulla seconda, sono evidentemente paralleli; e le intensità di queste due luci reflesse son poco diverse. Se i due sistemi d'ondulazioni coincidono, vi è aumento di luce, e se sono in ritardo d'un numero impari di semi-oscillazioni, resulta oscurità. Per maggior sem-

plicità consideriamo un solo colore elementare, per esempio il violetto. Il fascio reflesso sulla seconda superficie si trova in ritardo d'una quantità proporzionale al doppio della grossezza che ha attraversato due volte. Se e sia la grossezza, $2e$ è il cammino percorso dal raggio reflesso sulla seconda superficie: se l è la lunghezza d'un'ondulazione nell'aria, vi sarà oscurità per $2e = \frac{l}{2}$, cioè per una grossezza $e = \frac{l}{4}$, come pure per $2e = \frac{3l}{2}$ o $e = \frac{3l}{4}$, e così di seguito; dimanierachè tutte le grossezze per le quali vi sarà oscurità, sono $\frac{l}{4}, \frac{3l}{4}, \frac{5l}{4}, \frac{7l}{4}$, e in generale per un multiplo impari di $\frac{l}{2}$. Vi sarà poi luce per $2e = 2l$, ò $e = \frac{2l}{2}$, e così di seguito per le grossezze $\frac{4l}{2}, \frac{6l}{2}, \frac{8l}{2}$ e in generale per un multiplo pari di $\frac{l}{2}$. Da ciò resulta, che le grossezze corrispondenti ad anelli luminosi, saranno fra loro nel rapporto dei numeri 0, 2, 4, 6; mentre quelle corrispondenti agli anelli oscuri saranno nel rapporto dei numeri 1, 3, 5, 7. Nello stesso modo si trova la spiegazione degli anelli trasmessi: infatti una porzione che cade sopra una lastra trasparente, la attraversa direttamente, e un'altra la attraversa dopo due reflessioni nel suo interno. Questi due fasci son paralleli, e si uniranno o si distruggeranno fra loro, secondo che esisterà concordanza o discordanza fra le onde che li producono. È poi chiaro che l'oscurità non deve esser completa, perchè i due fasci non hanno intensità perfettamente eguali, il che appunto è conforme all'esperienza.

581. Se ora esaminiamo i numeri dati dalla teoria per le grossezze delle lastre, vediamo che essi sono l'inverso di quelli dati dall'esperienza. Infatti abbiamo trovato 1, 3, 5, 7, ec. per le grossezze che producono anelli oscuri per reflessione, il che è contrario all'esperienza, nella quale queste grossezze corrispondono agli anelli luminosi. Parimente 2, 4, 6, ec. secondo la teoria corrispondono agli anelli luminosi, e dall'esperienza resulta che queste sono le grossezze degli anelli oscuri.

Young ha sciolta questa difficoltà nel modo seguente. Nella propagazione d'un'onda in un mezzo di densità uniforme, lo

scuotimento d'uno strato di fluido, comunicato allo strato seguente, può paragonarsi all' urto di due palle di masse eguali. Quando una palla elastica in moto urta una palla simile in riposo, comunica a questa il suo moto, e resta in riposo. Lo stesso accade fra due strati di etere; ma se la luce passa dall' aria nel vetro, è chiaro che la densità dell' etere può esser diversa; e allora accade ciò che accaderebbe nell' urto di due palle di masse diseguali: sicchè, proseguendo sempre lo stesso paragone, lo strato sottilissimo del primo mezzo che si trova a contatto col secondo, e che si può rassomigliare alla prima palla in moto, non resta in riposo dopo aver messo in moto lo strato contiguo del secondo mezzo, a motivo della differenza delle loro masse; e però ha luogo la reflessione. Se il primo strato è meno denso di quello che segue, subito si muoverà indietro, e comunicherà il suo moto agli strati precedenti, e avrà luogo la reflessione: se al contrario è più denso, conserverà un moto in avanti che sarà seguito da un altro moto indietro, sicchè soltanto dopo una semi-oscillazione agirà sugli strati precedenti, mentre nell' altro caso agiva nel momento stesso, e quindi avrà pur luogo la reflessione; ma le stesse oscillazioni nel raggio reflesso accaderanno nei due casi a intervalli differenti d' una semi-oscillazione.

Da queste considerazioni applicate alla reflessione della luce si impara, che vi sarà una semi-oscillazione di differenza nei due raggi reflessi, secondo che un' onda luminosa è reflessa in dentro o in fuori d' un mezzo più denso. Questa medesima conseguenza è stata poi trovata da Poisson per mezzo dell' analisi.

Negli anelli colorati, i due sistemi di onde che producono i fenomeni, sono stati reflessi, il primo dentro al vetro superiore, e il secondo fuori del vetro inferiore; dunque, secondo il principio precedente, fra questi due raggi passerà una semi-oscillazione di differenza. Da ciò resulta, che raggi i quali si accorderebbero in ragione della differenza dei cammini percorsi indipendentemente da questa considerazione, dipendentemente da questa saranno in opposizione; e quindi dovunque dovrebbe esser luce non sarà che oscurità, e vice-versa, il che è conforme all' osservazione.

582. Da quanto abbiamo detto si rileva, che il quarto d' un' ondulazione luminosa $\frac{l}{4}=e$ è precisamente la lunghezza di ciò che Newton chiama *accesso di molecole luminose.* Così per avere le lunghezze delle ondulazioni dei sette principali colori semplici, bisognerà moltiplicare per 4 i numeri dati per i loro accessi. In tal modo si trovano gli stessi valori che si troverebbero deducendo le lunghezze d' ondulazione dalla misura delle frange prodotte

da due specchi, o dai fenomeni variati della diffrazione. Questa identità numerica che Young fu il primo ad osservare, stabilisce fra gli anelli colorati e la diffrazione della luce un intimo rapporto, che fin allora era sfuggito ai Fisici guidati dal sistema dell' emissione.

Poichè per un anello dello stesso ordine, formato con una stessa luce in due mezzi di densità diversa, gli strati hanno tali grossezze che sono fra loro nel rapporto del seno d'incidenza al seno di refrazione, per il passaggio della luce da un mezzo in un altro (n.° 576), si conclude che le lunghezze delle ondulazioni le quali danno gli stessi colori per questi due mezzi, son fra loro nello stesso rapporto. Merita d'essere osservata una circostanza, cioè che neppure con luce perfettamente omogenea non si hanno anelli senza grossezza, ma superficie anulari, perchè non vi è mai nè perfetta discordanza, nè accordo perfetto.

Dell' Eliostato

583. In moltissime esperienze d'ottica è necessario dare ai raggi luminosi una direzione costante Ciò si ottiene col mettere all' imposta della finestra della camera oscura in cui si fa l'esperienza, uno specchio piano di cui si cambia l' inclinazione ad ogni momento, poichè l'angolo d' incidenza del raggio solare cambia continuamente.

Gravesande ha imaginata una macchina che ha denominata *Eliostato* (*fig.* 411), e che serve a dare allo specchio riflettente un moto tale, che il raggio solare abbia una direzione costante. Le parti principali d' un Eliostato sono uno specchio e un orologio; e la lancetta fa muovere la coda dello specchio. Questo strumento è stato poi perfezionato da molti Fisici, e specialmente da Charles, da Malus, ec., ma la teoria di esso è superiore ad un Trattato elementare. Nei volumi IX e X del Giornale della Scuola politennica Hachette ha descritti i diversi eliostati.

Noi daremo soltanto un' idea d' un eliostato più semplice, imaginato da Gambey, limitandoci però a far conoscere il principio sul quale è fondato.

Se CD (*fig.* 412) rappresenti l' asse di rotazione del moto apparente del Sole, la linea BC la direzione dei raggi incidenti di questo astro, e la linea CA quella dei raggi reflessi, BC essendo eguale ad AC, formerà con la linea AB un triangolo isoscele; sicchè situando uno specchio parallelamente a quest' ultima linea, e perpendicolarmente al piano del triangolo ABC, questo specchio sarà in una situazione opportuna per riflettere i raggi BC nella direzione CA; ed è questa appunto la condizione alla quale deve soddisfare lo strumento. Eccone la dimostrazione.

L'angolo CBA è eguale a CAB; e questi due angoli sono opposti ed eguali uno all'angolo d'incidenza e l'altro all'angolo di reflessione. Ora è chiaro, che se si fa girare la linea CB intorno alla linea CD, con un moto eguale a quello del Sole, e se questa linea CB forma con la linea EF, che rappresenta l'equatore, un angolo eguale all'angolo della declinazione del Sole, e dall'altra parte la linea CD sia parallela all'asse del Mondo, è chiaro che a qualunque ora del giorno la linea CB sarà la direzione dei raggi incidenti, e la linea AB, che può girare sul punto A e strisciaresul punto B, sarà sempre la base d'un triangolo isoscele. Ciò premesso, l'eliostato di Gambey consiste in un castello d'orologio che fa girare in ventiquattro ore la linea CB intorno alla linea CD: sopra CB è un arco graduato, per situare questa linea alla declinazione del Sole; e sopra CD è un quadrante, per situare questa medesima linea all'altezza del polo, la qual linea, per mezzo d'un traguardo posto sul piede dello strumento, si dirige nel meridiano; e finalmente sulla linea AB è uno specchio come già abbiamo detto. Anco di questo eliostato Hachette ha data la descrizione nel *Bullet. de la Soc. d'encouragem.*, *an.* 1826.

ACUSTICA

584. L'Acustica è una parte della Fisica, che qui non può esporsi se non in una maniera elementare, giacchè non potrebbe considerarsi in tutta la sua estensione senza un' analisi sublime; e in questo aspetto essa fa parte delle scienze fisico-matematiche.

Il suono resulta da moti vibratorii impressi nei corpi sonori (1); queste vibrazioni son comunicate all'aria, e dall'aria all'orecchio nel modo che indicheremo. In questo passaggio i suoni più distinti, o i più capaci d'esser intesi, son prodotti dai corpi dotati d'elasticità sufficiente per esser suscettivi di moti vibratorii. Così una palla d'argilla umida che è priva d'elasticità, quando venga urtata, produce soltanto il suono che resulta dalla condensazione della piccola quantità d'aria che è fra la palla e il corpo urtante. Una palla di rame produrrà un certo suono, perchè alquanto elastico è il metallo di cui è formata. Il rumore delle armi a fuoco e del tuono, il sibilo della frusta, ec. è prodotto nella stessa maniera da urti distinti comunicati all'aria, e trasmessi all'orecchio da una successione di vibrazioni.

L'aria però non è il solo conduttore del suono; anzi tutti i corpi elastici son capaci di propagarlo. Se si colpisca o si freghi con un semplice spillo un'estremità d'una lunga asta di legno, l'orecchio applicato all'estremità opposta sentirà distintissimo il suono (2).

È opinione generale che il suono si propaghi nell'aria per mezzo d'una successione di vibrazioni concentriche, simili a quelle che son prodotte sulla superficie dell'acqua da un sasso gettatovi. In questa supposizione il corpo sonoro è il centro del moto, e le ondulazioni scemano di forza a misura che si allontanano da questo centro, e infine divengon sì deboli da non fare veruna impressione sull'organo dell'udito.

(1) *Sonoro* si chiama un corpo appunto quando urtato è capace di produrre sull'organo dell'udito l'impressione del suono. Così se si vibra una corda di strumento, tutti i punti di essa si allontanano o più o meno dalla situazione in cui erano quando la corda era in riposo; e la corda intera va e viene alternativamente al di qua e al di là della sua prima situazione con un moto di vibrazione che deriva dall'elasticità. Un corpo incapace di queste vibrazioni non è sonoro.

(2) Di questo mezzo infatti si serve il barcarolo, per trovare il punto per cui filtra l'acqua nella sua barca; cioè applica l'orecchio all'estremità d'un lungo bastone, mentre con l'altra percorre le pareti del suo legno, e così sente, anco in mezzo ai rumori circonvicini, il piccolo rumore che fa l'acqua nell'entrare.

Per formarci un' idea delle vibrazioni sonore, poniamo una campana di vetro fra due punte metalliche: se ora la urtiamo in qualche maniera, vedremo e udiremo che essa urta successivamente le punte. Questa campana può concepirsi come formata d'un' infinità d'anelli separati, dalla base fino al vertice: nel momento in cui viene urtata, ogni anello prende una figura ovale, col maggior diametro perpendicolare alla direzione dell'urto: quindi l'anello torna alla sua primitiva figura (1). Queste vibrazioni si comunicano all'aria, finchè la campana torna nel suo stato di riposo.

585. Quanto più rapidi sono questi moti di vibrazione, in un dato tempo, tanto più *acuti* sono i suoni che ne resultano. Infatti, si fissi ad un piano una lama sottile d'acciaio per un'estremità; se quindi applicando una forza all' altra estremità, si allontani dalla sua situazione, essa vi tornerà dopo un numero di oscillazioni, che si potranno facilmente contare se la lama ha una certa lunghezza. Riducendola più corta, le vibrazioni diverranno sì rapide che non potranno più contarsi, ma conoscendo la lunghezza della lama, potrà sempre dedursi il numero delle oscillazioni accadute in un tempo dato. Si dimostra infatti in meccanica, che per una lama d'egual grossezza in tutta la sua estensione, la durata d'ogni vibrazione è proporzionale al quadrato della sua lunghezza. Quindi si trova, che una lama, quando comincia a produrre un suono distinto, fa 32 vibrazioni in un minuto secondo; e questo primo suono è eguale a quello d'una canna d'organo, lunga 32 piedi e aperta alla sua estremità. La stessa esperienza potrebbe farsi con una corda tesa con un peso noto. Con simili esperimenti si troverebbe, che i suoni cessano di esser distinti, quando il corpo vibrante fa 8200 vibrazioni in un secondo.

586. Il suono non si trasmette nel voto. Infatti si ponga una sveglia sotto il recipiente della macchina pneumatica, posandola sopra un cuscinetto di cotone o di lana; dopo fatto il voto, se con un' asta o in qualunque altra maniera si procuri la scarica della sveglia, si vedrà il martellino battere continuamente nella campana metallica, e intanto non si udirà il suono. Per rendere quest' esperienza anco più decisiva, si copra la prima campana con un' altra simile, e si faccia il voto nell' intervallo fra esse: in tal caso non si sentirà assolutamente verun suono. Si lasci poi rientrar l'aria a poco a poco, e il suono diverrà ognor più intenso.

Questa verità vien confermata ancora dalle esperienze di

(1) Ma però vi torna dopo varie oscillazioni, simili a quelle della corda che è stata citata di sopra.

Priestley e di Perolle, i quali hanno trovato, che il suono trasmesso a traverso di un gas è tanto meno intenso, quanto minore è la densità di un tal gas: quindi nell'esperienza precedente appena si sentirebbe il suono della sveglia, se la campana fosse piena di gas idrogene.

Velocità del suono

587. Il suono percorre spazii proporzionali ai tempi: dunque la sua velocità è costante, ed è stata valutata di 1038 piedi per minuto secondo.

Attesa però l'incertezza di questa misura, l'Accademia delle Scienze di Parigi intraprese nuove esperienze, che furono eseguite fra Montlhéry e Montmartre. Queste furon fatte per mezzo d'un cannone, notando il tempo che passava fra il momento in cui si scorgeva la luce prodotta dall'accensione della polvere, e quello in cui si sentiva il rumore; e dividendo lo spazio percorso per il tempo osservato, si otteneva la velocità del suono; giacchè la luce, attesa l'immensa rapidità del suo moto, percorre in un tempo che può assolutamente trascurarsi, le 14636 tese che separano Montmartre da Montlhéry. Altre esperienze ancora sono state fatte in intervalli minori; e da tutte è resultato, che la velocità del suono è *costante*; e che è di $337^m,118$ ossia 1039 piedi per secondo; che un *suono forte* e un *suono debole* hanno la stessa velocità; e che questa non cambia per *un tempo piovoso* o *sereno*. Solamente la direzione e la forza del vento influiscono sulla velocità del suono, sicchè se la direzione dell'uno è cospirante con quella dell'altro, la velocità cresce; e scema se le due direzioni sono contrarie. Se poi accade che queste sieno fra loro perpendicolari, la velocità del suono non resta alterata.

Furon ripetute simili esperienze nella notte del 21 Giugno 1822, fra Villejuif e Montlhéry, per commissione della stessa Accademia, da Humboldt, Gay-Lussac e Bouvard, che osservavano a Villejuif, e da Prony, Arago e Mathieu a Montlhéry. La temperatura dell'aria era 16°. E perchè il vento non avesse alcuna influenza sui resultamenti, si scaricava il cannone da ambedue le stazioni. Con tutto questo la velocità del suono fu trovata $337^m,2$, cioè ben poco diversa dall'altra.

Un poco maggiore fu trovata da Muller a Gottinga. Parimente Espinosa e Bauza, a Sant-Yago e al Chily la trovarono di 374^m, cioè quasi 1122 piedi, alla temperatura 23°,2. Dall'espressione della velocità del suono apparisce che questa deve crescere al crescer della temperatura; e anco il Bianconi aveva già osservato che essa era maggiore in estate che in inverno; ma se la

differenza sia tanta quanta ne indicano i citati Fisici spagnoli, non potrà decidersi se non con nuove osservazioni.

588. La cognizione della velocità del suono somministra un mezzo di rilevare almeno approssimativamente la distanza a cui un individuo si trova da una città assediata, da una fortezza, ec.; giacchè basta contare i secondi e le frazioni di secondo che passano dal momento in cui si vede la luce d'un cannone, e quello in cui il rumore arriva all'orecchio.

589. Importa moltissimo il paragonare la velocità calcolata con la velocità osservata. Sia H l'elasticità o la pressione dell'aria, d la sua densità, e g la gravità. L'espressione che

rappreseuta la velocità del suono è $V=\sqrt{\frac{gH.}{d}}$. Se ora si

prenda la densità dell'aria alla pressione media $0^m,76$, e alla temperatura del ghiaccio che si fonde, e g alla latitudine di Parigi, sarà $H=0^m,76$; $d=\frac{1}{10463}$ della densità del mercurio; e $g=9^m,809$: avremo dunqne $V=279^m,28$, velocità del suono a zero.

Per paragonarla con le esperienze eseguite dagli Accademici nel 1822, alla pressione di $0^m,756$ e alla temperatura

di 16°, faremo $d=\frac{1}{10463(1+0,00375\times16)}$, e $H=0^m,756$;

quindi

$$V=\sqrt{9,809\times0,756\times10463(1+0,00375\times16)}=286^m,78,$$

che differisce dalla velocità osservata di $50^m,42$.

Una tal differenza fra esperienze così esatte, ed una teoria matematica fondata sulle leggi della meccanica, è stata soggetto di studio per espertissimi Geometri. Laplace ha creduto che dovesse attribuirsene la causa principale al calore sprigionato nell'aria dalla compressione; e dalle sue osservazioni pensa di poter dedurre questa proposizione: « La velocità reale del suono è eguale al prodotto della velocità determinata dalla formola newtoniana, per la radice quadra del rapporto del calore specifico dell'aria sottoposta alla pressione costante dell'atmosfera a diverse temperature, al calore specifico quando il suo volume resta costante ».

Secondo la Memoria di Laroche e Berard,

$\sqrt{\frac{C'}{C}}=\sqrt{\frac{3}{2}}$; e secondo le esperienze di Gay-Lussac e di

Velter, $\sqrt{\frac{C'}{C}} = \sqrt{1,375}$. Moltiplicando la velocità calcolata per questo ultimo numero, il prodotto non differisce che di pochi metri dalla velocità osservata (*An. ch.* t. 20, p. 266).

Non è possibile dimostrare direttamente lo sprigionamento del calore nella propagazione del suono; ma questo sprigionamento apparisce molto probabile, per l'accordo che resulta fra la velocità osservata e quella calcolata, nell'ammessa ipotesi da Laplace per una parte e da Poisson per l'altra.

Le esperienze di Biot sulla trasmissione del suono a traverso dei vapori, indicano pure uno sprigionamento di calore: infatti senza questa supposizione, il suono non si trasmetterebbe nei vapori, perchè un vapore diverrebbe liquido per effetto di compressione, e il suono non verrebbe trasmesso: ma se la temperatura si alza, come nell'aria, allora lo spazio può essere occupato da vapore più condensato, e nel tempo stesso potrà accadere trasmissione di suono; la qual conseguenza è totalmente conforme all'esperienza. (*Soc. d'Arc.* t. 2).

590. Dalla formola $V = \sqrt{\frac{gH}{d}}$ apparisce, che il valore di V è indipendente dalla pressione, poichè secondo la legge della compressione dei gas, $\frac{H}{d}$ è una quantità costante (n.° 108); dal che si vede, che la velocità del suono deve esser la stessa a qualunque altezza nell'atmosfera e al livello del mare, supposta costante la temperatura. Daciò apparisce, che bisogna distinguere l'intensità del suono dalla sua velocità: infatti, poichè l'intensità non è altro che la forza con cui le particelle aeree colpiscono l'organo dell'udito, è chiaro che essa deve dipendere dalla densità e dalla velocità di queste particelle. Dunque tale intensità deve indebolirsi tanto più presto, in circostanze eguali, quanto meno denso è lo strato d'aria in cui si eccita la prima vibrazione; e ciò appunto è conforme alle esperienze del n.° 572 ed alle osservazioni di Saussure sulle regioni delle Alpi, ove il rumore d'un colpo di pistola non si sentiva che a piccola distanza

Il valore che abbiamo dato per la densità è relativo all'aria perfettamente asciutta, il qual caso non ha mai luogo in natura; ma poichè l'atmosfera, anco nei tempi più caldi, non contiene che una piccolissima quantità di vapore, e dall'altra parte il peso del vapore è $\frac{5}{8}$ di quello dell'aria, a vo-

lumi eguali, ne resulta che l'influenza di questo vapore è leggerissima.

591. Il suono si trasmette per i solidi e per i liquidi con una rapidità molto maggiore che per i gas, come già aveva osservato Cartesio Questa differenza si prova con un fatto. Un osservatore si ponga all'estremità d'un lungo tubo di ferro, o d'una riunione di tubi, oppure d'un muro di pietra: se il tubo o il muro venga colpito sull'altra estremità, l'osservatore attento sentirà prima il suono prodotto dalla materia solida, e quindi quello trasmesso dall'aria. E Laplace col calcolo ha trovato, che la velocità della trasmissione del suono, supposta 1 nell'aria, diviene $4\frac{1}{3}$ nell'acqua pura, $4\frac{7}{10}$ nell'acqua marina, e $10\frac{2}{3}$ nell'ottone. Ciò combina con le esperienze di Chladni, d'Hassen-Fratz, di Biot, ec.

La velocità del suono in un liquido è $g\sqrt{\frac{g}{c}}$, dove

$g=9^m,808$, esprime il doppio dello spazio che la gravità fa percorrere ai corpi in un minuto secondo, e c indica la diminuzione di volume che soffre il liquido per la compressione d'un metro dello stesso liquido. Laplace prende il numero 42,5 milionesimi, dato da Kanton per la diminuzion di volume che soffre l'acqua pura, sottoposta ad una pressione di $0^m,76$ di mercurio, o $10^m,325$ d'acqua. Ora 0,0000425, diviso per $10^m,325$ dà 0,00000421, diminuzione prodotta da 1^m di pressione d'acqua. La velocità del suono nell'acqua pura

è dunque eguale a $\sqrt{\frac{9^m,8088}{0,00000421}}=1525^m,8$, numero quattro volte e mezzo maggiore di $337^m,2$, che esprime la velocità del suono nell'aria.

Noteremo però, che il valore della compressione dato da Kanton è minore del vero. Inoltre, quando pur fosse esatta l'esperienza di questo Fisico, non indicherebbe se non la compressione apparente, mentre dovrebbe aversi la compressione assoluta; e fa maraviglia che a Laplace sia sfuggita quest'ultima osservazione.

Un'altra osservazione ancora crediamo opportuno di aggiungere. La differenza fra la velocità del suono osservata e quella calcolata, viene attribuita all'aumento d'elasticità che acquista l'aria, in conseguenza della sua elevazione di temperatura. Questa spiegazione è fondata sulla gran compressibilità dell'aria. Anzi, se con esperienze dirette non si potesse render manifesto lo sprigionamento del calore nella compres-

sione dei gas, questo sprigionamento sarebbe una conseguenza dell' essere la velocità osservata del suono maggiore della calcolata. Ma potremo noi ragionare in egual modo relativamente ai solidi e ai liquidi? Potremo noi per esempio concludere, che l'acqua non si riscalda nella sua compressione, dacchè la velocità del suono osservata in questo liquido, non è sensibilmente diversa dalla velocità calcolata? Noi non siamo sicuramente di questo parere; anzi ardiremmo dire, che simili paragoni non son punto opportuni a condurre ad alcuna rigorosa conseguenza, e ciò per varie ragioni: primieramente perchè la compressione prodotta nel trasmettersi il suono è debolissima, in paragone di quella che è necessaria per riscaldar l' acqua in un modo sensibile; inoltre, perchè il valore assoluto della diminuzion di volume dell' acqua nella compressione, è incerto; e finalmente, perchè è troppo difficile operare sopra un' acqua perfettamente identica con quella del lago o del mare a traverso del quale vien trasmesso il suono. Forse il solo mezzo che a noi sembra opportuno per rilevare lo sprigionamento di calore nella compressione dei liquidi, è quello da noi stessi proposto all' Accademia, e che consiste: 1.° nel lasciar prendere una nota temperatura ad un liquido sottoposto ad una determinata compressione: 2.° nel misurare l' abbassamento di temperatura nel momento in cui si riporta il liquido alla pressione ordinaria. Per eseguir ciò si comprime fortemente il liquido che si vuole sperimentare, si lascia immerso in una massa considerevole d'acqua fredda, finchè si riduca alla temperatura di questa, e si osserva il freddo che esso produce tornando alla pressione dell' atmosfera. Il freddo prodotto dall' espansione, è evidentemente eguale al calore sprigionato dalla compressione del liquido stesso. Del resto questo processo ci sembra il più vantaggioso per ottenere resultamenti pochissimo diversi dal vero, mentre con tutti gli altri processi siamo esposti ad aver resultamenti o troppo grandi o troppo piccoli.

592. Vi sono due specie di suono, cioè il rumore e il suono musicale. Il rumore è un urto istantaneo, comunicato alle molecole dell'aria; il suono musicale al contrario consiste in una serie di vibrazioni isocrone che vengono a colpire l'orecchio. Nel suono musicale bisogna distinguere tre qualità; 1.° l' *intensità*, che dipende dall' ampiezza delle vibrazioni, come si osserva strisciando con l' arco una corda con maggiore o minor rapidità; 2.° il *tuono*, che dipende dal numero delle vibrazioni eseguite in un dato tempo, e questa qualità fa sì che un suono è più o meno *grave* o *acuto*, intendendo per *grave* quel suono prodotto da un corpo, che in un dato tempo fa un minor numero di vibrazioni d' un altro, che nel tempo stesso ne fa un maggior nu-

mero, e che in paragone di quello produce un suono acuto; 3.° *la differenza di suono* che è una qualità dipendente dalla natura di ciascuno strumento. Così passa una differenza notabile fra la stessa nota eseguita con un oboe o con un flauto.

Propagazione del Suono

593. Alla bocca d'un cilindro pieno d'aria uniformemente densa, si adatti una lama elastica, perpendicolarmente all'asse del cilindro. Se questa lama venga vibrata, agirà sullo strato di aria col quale è ad immediato contatto, lo spingerà, lo comprimerà, e nel suo ritorno lascerà un voto in cui l'aria potrà dilatarsi, e però le particelle d'aria contigue alla lama vibrante si muoveranno a vicenda come essa. Con queste parziali vibrazioni, agiteranno esse dunque le molecole d'aria vicine, queste le successive, e così di seguito; e tali effetti si ripeteranno, finchè dureranno le vibrazioni della lama.

Ora è chiaro, che ciascuna ondulazione sarà alternativamente condensata e dilatata; dimanierachè, se la densità della colonna d'aria scossa diviene in principio D e $D + \frac{D}{m}$, in seguito diverrà $D - \frac{D}{m}$ e D; e tutte le molecole d'aria successivamente scosse, passeranno per questi diversi stati.

L'*onda sonora* è la riunione delle ondulazioni comunicate agli strati d'aria. La *lunghezza* d'un'ondulazione è l'estensione dell'escursione di ciascuno strato, ed è sensibilmente eguale allo spazio che percorre il suono fin che dura l'escursione del corpo vibrante dal quale il suono stesso è prodotto. Se il corpo fa una vibrazione per ogni minuto secondo, l'ondulazione avrà una lunghezza di $337^m,2$, che è lo spazio percorso dal suono in un secondo di tempo; e se varia la durata dell'escursione del corpo vibrante, varierà proporzionatamente anco la lunghezza dell'ondulazione. Intanto il corpo tendendo a tornare nella sua primitiva situazione, urterà l'aria con una forza che diverrà sempre minore, finchè cesserà affatto.

In un tubo cilindrico il suono non deve indebolirsi, perchè lo strato d'aria urtata conserva la medesima estensione: e ciò infatti è confermato dall'esperienza. Un individuo che parla alla bocca d'un tubo cilindrico, per quanto a voce bassa, è sentito distintamente da un altro che sia ad una giusta distanza dall'estremità opposta.

Se in uno strato d'aria indefinito per ogni senso, venga im-

presso un urto in un sol punto, non tutta l'aria sarà scossa nel medesimo tempo, ma prima verrà scosso lo strato più vicino al centro di vibrazione, che comunicherà il suo moto allo strato successivo, e così di seguito. Tutte le molecole d'aria scosse ad ogni momento, si troveranno sopra una superficie sferica, il raggio della quale anderà continuamente crescendo, finchè l'aria cessi d'essere scossa; ed è chiaro che l'intensità del suono scema in ragione inversa del quadrato della distanza dal centro di vibrazione. In quanto poi all'onda sonora e alla lunghezza d'un'ondulazione, accade in questo caso lo stesso che nel caso precedente.

Se si produca uno scuotimento istantaneo in uno spazio finito, ciascuna parte scossa non produrrà sugli strati vicini se non ciò che ha prodotto il punto unico considerato di sopra; ma ad una certa distanza dal centro di scuotimento, tutti gli effetti isolati si combineranno in modo da produrre in ogni strato una serie di scuotimenti tali, che tutto l'effetto sarà eguale a quello che resulterebbe dalla somma degli scuotimenti parziali. Bisogna soltanto riguardare come positivi i moti che tendono ad allontanare le particelle dal centro di scuotimento, e come negativi quelli che tendono ad avvicinarvelo. Questa coesistenza di piccoli moti è un principio fecondissimo; e per esso si comprende perchè i suoni che si producono nel tempo medesimo in una stanza, si propagano separatamente senza confondersi, e arrivano chiari e distinti all'organo dell'udito.

Reflessione del Suono

594. Il suono è capace di riflettersi come la luce e come il calore, facendo l'angolo di reflessione eguale all'angolo d'incidenza. Quando un'onda sonora incontra un ostacolo, vien reflessa secondo l'indicata legge, e questo suono reflesso si chiama *Eco.*

Negli spazii chiusi il suono è respinto da un muro all'altro; e in questo caso gl'intervalli fra il suono diretto e il suono reflesso sono impercettibili. Ma se un individuo sia in mezzo all'aria libera, ad una certa distanza dall'ostacolo, passerà un certo tempo fra il suono diretto e il suono reflesso, e allora l'eco è sensibile. Se più d'uno sieno gli ostacoli, l'eco sarà moltiplice; e ve ne sono alcuni che ripetono il medesimo suono fin quaranta volte.

Con gli stessi principii del suono reflesso si spiega il fenomeno che si osserva in una stanza costruita di forma ellittica,

dove due persone situate nei due fuochi della figura possono intendersi anco parlando sotto voce (1).

Nella stessa maniera pure è stata spiegata la romba del tuono. Questa romba si considera come il resultamento d' un primo rumore reflesso successivamente dai diversi strati dell'atmosfera, i quali, come è noto (n. 226), hanno diversa densità (*a*).

(1) Tali stanze si chiamano *Gabinetti parlanti*. Tale è il Coro di S. Cosma e Damiano di Roma, la sala della così detta Cittadella o Palazzo regio di Piacenza, la Galleria di S. Paolo di Londra, quella di Glocester, dove due persone si intendono da 25t di distanza, parlando a voce sommessa, la Cattedrale di Gergenti in Sicilia, la Grotta della favella nelle cave di Siracusa, ec. In generale per una facil costruzione di simili sale, basta fare le pareti e la volta di figura d'un ellissoide bislungo.

Questi medesimi principii sviluppati o rettificati da Lagrange, da Trembley, da Poisson, e più di tutti da Rhode (*Teoria del suono per gli Architetti*, Berlino 1800), indicano il modo di costruire un Teatro non sordo, come è il Teatro degl' Intrepidi in Firenze. Nella costrozione d' un gran Teatro, deve l' Architetto prescegliere una tal figura, che combini la maggior possibile riunione dei raggi *fonici* o sonori. Svantaggiosa pertanto sarebbe la figura ellittica che ha il Teatro di Berlino, perchè riunisce solo in un fuoco i raggi che partono dall' altro fuoco; e quindi un tal Teatro e produce l' eco, e non fa sentire le voci e i suoni distinti a chi è situato lungo la Curva. Per la stessa ragione è inconveniente anco l' ovale e il circolo, come si può rilevare dal S. Paolo di Londra e dalla Rotonda di Roma. — Soddisfa perfettamente al problema la parabola, per la sua proprietà di rimandare indefinitamente e a parallelismo i raggi fonici che partono dal suo fuoco. E per maggior perfezione, oltre al far paraboliche le pareti, costroendole nel senso dei due rami d'una parabola, si potrebbe pur far parabolica la Volta non troppo alta. Anzi per la Volta può servir di modello il celebre teatro di Parma architettato dal Palladio, dove la soffitta è parallela alla platea, se non che in fondo va alquanto inalzandosi. Su questo modello fu pur costruito il gran Teatro della Scala di Milano. Gioverebbe ancora sull' esempio degli antichi Teatri, come nella villa d' Adriano a Tivoli, fare il pavimento più elevato verso il fine della platea.

Su questi medesimi principii fisici son costruiti il Cornetto acustico e il Porta-voce.

Il *Cornetto acustico* è di figura parabolica troncata nel fuoco, al qual fuoco applicato l' orecchio, riceve riuniti tutti i raggi fonici che vengono nella direzione dell' asse della parabola.

Il *Porta-voce* è costruito sullo stesso principio fisico, e nello stesso modo geometrico, e serve in un modo opposto a quello del cornetto, acustico. In questo strumento parlono i suoni dal fuoco e dopo aver urtato nella curva, proseguono il loro corso in direzione parallela all' asse, e perciò riuniti, e non divagati da una divergenza che li disperderebbe. Un tale stromento serve adunque a produrre, da grandi distanze, un' impressione sufficiente per l' organo dell' udito. Se ne servono gli Uffiziali di marina per far intendere i loro ordini, a malgrado del fischio dei venti, del rumor delle vele, del muggito del mare, ec.

(*a*) Nelle esperienze fatte per commissione dell' Accademia nel

Leggi delle vibrazioni dei corpi sonori

595. Da ciò che abbiamo detto apparisce, che esiste una dipendenza fra la rapidità delle vibrazioni d'una corda tesa, e la natura del suono che essa produce. Riprendiamo ora questo argomento, e paragoniamo i suoni fra loro.

Una corda resa rettilinea per mezzo di tensione, e allontanata poi in qualche modo dalla sua situazione, vi torna dopo una serie d'oscillazioni. Chiamando t il tempo d'un'oscillazione piccolissima, l la lunghezza della corda, p il suo peso, g la gravità, e P il peso attaccato ad un'estremità della medesima, e che la mantiene in uno stato di tensione, il rapporto che il calcolo dà per una simil corda tesa, è $t = \sqrt{\frac{lp}{gP}}$. E se invece di p si metta il suo valore $l\pi r^2 d$ (chiamando d la densità), si avrà

$= rl\sqrt{\frac{\pi d}{gP}}$; e se n è il numero delle vibrazioni fatte nell'unità di tempo si avrà $n = \frac{1}{rl}\sqrt{\frac{gP}{d\pi}}$.

Da questa formola si deducono molte importanti conseguenze.

1.° I numeri di vibrazioni di due corde di egual materia, di egual diametro ed egualmente tese, sono *in ragione inversa delle lunghezze.*

2.° Essendo eguali la materia, il diametro e la lunghezza, e variando la tensione, i numeri d'oscillazioni *son proporzionali alle radici quadre* dei pesi che tendono le corde. Ciò si rende manifesto anco in pratica, perchè una corda stirata con un peso quadruplo, produce lo stesso suono della medesima corda, ridotta a metà della sua lunghezza.

Queste conseguenze si verificano per mezzo d'un semplicissimo apparecchio, detto *Monocordo* (*fig.* 413), il quale consiste in una corda fissata per un'estremità A, e stirata con un peso attaccato all'altra; e perchè una porzione del peso non debba spendersi per vincer l'attrito, la corda riposa sopra una puleggia mobile B. Nel far queste esperienze, perchè riescano più esatte, si adopra sempre la stessa corda. Per cambiarne la lunghezza, si

1822, i colpi di cannone tirati a Montlhéry, erano acompagnati da una romba che durava fin 25''. Ma si osserva che ciò non accadeva se non nel momento in cui appariva una qualche nube: e quando il cielo era sereno, il rumore era unico (*An. ch.* t. 20, p. 222).

adopra un *ponticello* mobile (*fig.* 414), che si trasporta a piacere nel punto ove vogliamo limitare la lunghezza della corda: esso deve esser tanto alto, che posto fra il piano del monocordo e la corda, questa prema su quello, e resti così fissata nel punto in cui preme.

Se il ponticello è situato nel mezzo della corda, il numero di vibrazioni fatte da ciascuna metà, in un tempo dato, sarà doppio di quello che fa la corda intera; e il suono prodotto da ciascuna metà, sarà quello che si chiama l'*ottava* acuta del suono della corda intera.

Se si mette il ponticello a un terzo della corda, il suono prodotto da questa terza parte sarà anco più acuto del precedente, e sarà l'ottava del suono prodotto dall'altra porzione che è $\frac{2}{3}$ della corda. Questo ultimo sarà quello che in musica si chiama la *quinta* del suono prodotto dalla corda intera. Proseguendo a dividere in simil modo la corda, si otterrebbero le consonanze seguenti.

Chiamando 1 il suono più basso, l'ottava acnta sarà 2, che è l'intervallo fra i due *do* della scala ordinaria;

L'intervallo fra *do* e *sol*, ossia la quinta ascendente, avrà per espressione $\frac{3}{2}$;

L'intervallo fra *do* e *fa*, cioè la *quarta*, sarà rappresentato da $\frac{4}{3}$.

L'intervallo fra *do* e *mi*, cioè la terza maggiore sarà $\frac{5}{4}$.

L'intervallo fra *mi* e *sol*, cioè la terza minore, sarà $\frac{6}{5}$.

Proseguendo nella stessa maniera, si troverebbero tutti i suoni musicali rappresentati come segue:

Suoni	*do, re, mi, fa, sol, la, si, do*
Numeri di vibrazioni	1 $\frac{9}{8}$ $\frac{5}{4}$ $\frac{4}{3}$ $\frac{3}{2}$ $\frac{5}{3}$ $\frac{15}{8}$ 2,

i quali formano tutta la scala naturale.

Esperienze di Sauveur

596. Se si fa vibrare una sola corda, essa produce nel tempo stesso più suoni: in generale se ne sentono tre, ma un orecchio delicato può sentirne fin cinque. Se il suono fondamentale è rappresentato dall'unità, i due suoni concomitanti saranno rappresentati uno da 3 e l'altro da 5; sicchè se il primo è *do*, il secondo sarà l'ottava della quinta ascendente *sol*, e il terzo la doppia ottava della terza maggiore *mi*. Degli altri due suoni che con l'attenzione e con lo studio possiamo distinguere, il primo è rappresentato da 2, e il secondo da 4, cioè essi sono l'ottava e la doppia ottava del suono principale. Da ciò resulta che una corda rende nel tempo stesso i suoni rappresentati dai numeri 1,

2, 3, 4, 5. Parrebbe dunque che questi fossero i primi termini d' una serie infinita, poichè se accanto alla corda messa in vibrazione, si pongono varie altre corde dello stesso diametro e tese egualmente, ma che sieno lunghe $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{5}$, $\frac{1}{6}$, ec. della prima, tutte vibrano nel tempo stesso. Aggiungeremo infine, che qualche volta si distinguono fin sette suoni prodotti dalla medesima corda.

Il suono principale è stato chiamato suono *generatore*, e i suoni che l' accompagnano, suoni *armonici*.

Varie ipotesi sono state emesse per spiegare il fenomeno dei suoni armonici, ma la più soddisfacente sembra quella con cui si suppone, che nel tempo stesso in cui la corda intera vibra intorno alla sua situazione d' equilibrio, vibri pure ognuna delle sue parti, senza che le diverse vibrazioni parziali si nuocano scambievolmente. Si comprende infatti che può ben accadere, che questo sistema eseguisca tutte le vibrazioni in un tempo.

Questa spiegazione sembra confermata da un' altra esperienza di Sauveur. Se si pone il ponticello ad un tal punto della corda, che le parti che ne resultano abbiano un rapporto semplice con la corda intera, e in modo che non la prema tanto da intercettare ogni comunicazione fra le due parti; se quindi si faccia vibrare ciascuna parte separatamente, ambedue tramanderanno il medesimo suono, diverso però da quello della corda intera; e sarà tale questo suono, che, rappresentando coi numeri più semplici il rapporto fra le due parti, questo sarà espresso dall'unità. Così se il ponticello è posto a $\frac{1}{4}$ della corda, la parte più lunga cioè $\frac{3}{4}$, per rendere lo stesso suono della più piccola, si dividerà in tre parti, eguali ciascuna alla più piccola. Infatti se si divida questa porzione di linea in tre parti, e sopra ogni punto di divisione si ponga un pezzetto di carta, questi pezzetti di carta resteranno in riposo non ostante la vibrazione della corda, il che prova che in questi punti esistono altrettanti *nodi* (1). E se al contrario si metta la carta sopra altri punti, essa caderà appena la corda verrà vibrata.

(1) Se si osserva attentamente questa corda quando è in stato di vibrazione, si vede che ciascuna parte è suddivisa in altrettante porzioni eguali, quante unità son contenute nel numero che corrisponde al suo suono. Così fra due suddivisioni vicine esiste un *punto di riposo*, che è quello che si chiama *nodo*: tali sono BB, CC (*fig.* 415); e nel mezzo della stessa suddivisione, l' ondulazione forma un *ventre*, come in una corda che tutta è in stato di vibrazione: tali sono E, F, e in questi ultimi la densità dell' aria vibrata non cambia. In una superficie vibrante, i limiti fra le ondulazioni son determinati da linee di *riposo*, che appunto si chiamano *linee nodali*.

Esperienza del Tartini

597. Questa esperienza consiste nel far sentire nel tempo stesso due suoni forti e distinti. Il loro concorso ne produce un terzo ma più debole, e tale che se il rapporto fra i primi due si rappresenti con i numeri più semplici, il suono prodotto sarà rappresentato da 2 (1).

Vibrazioni delle verghe solide, rette o curve

598. Le vibrazioni d' una verga solida retta d' acciaio o di qualunque materia elastica, possono accadere, come in una corda, in direzione trasversa e longitudinale, ma le leggi delle vibrazioni trasverse delle verghe d' acciaio son diverse da quelle alle quali son soggette le corde, perchè in queste la tensione non agisce che in un senso, mentre nelle verghe solide e in generale nelle superficie rigide la forza d'elasticità agisce anco sulla curva. Nel moto longitudinale al contrario, la reazione elastica delle particelle materiali agisce egualmente nelle corde e nelle aste, supponendo però le une e le altre molto sottili.

La sola rigidezza d' una verga solida basta per tenerla tesa, e quindi non è necessario che sia fissata alle sue estremità come una corda, per esser messa in vibrazione. Anzi può fissarsi in diverse maniere, e quindi dar luogo a diverse specie di moti.

Nelle esperienze sulla vibrazione di una verga, bisogna procurare di sceglierla diritta, omogenea e grossa uniformemente; quindi si fissa con una morsa, e si mette in vibrazione per mezzo d' un arco. Per produrre nodi analoghi a quelli che si osservano nelle corde, si tocca col dito o con un corpo solido uno dei punti che si vuol ridurre all' immobilità. Nelle verghe piane, si rendono visibili le suddivisioni spontanee che provano nelle loro vibrazioni, sol che si coprano di sabbia fine, come già usò Galileo, e dopo di lui Chladni nelle sue numerose e belle esperienze. Tutti i grani di sabbia, agitati dal moto vibratorio, si riuniscono nei nodi; e gli stessi effetti si os-

(1) Se i due suoni di cui qui si parla sono espressi per esempio dai numeri 8 e 9, nel qual caso il loro accordo produrrà una dissonanza simile a quella che resulta dai suoni *do* e *re*, il suono prodotto essendo 2, corrisponderà alla doppia ottava bassa del *do* della dissonanza. In generale basterà trasportare all' ottava uno dei suoni dell' accordo, o tutti e due, perchè siano compresi nella serie degli armonici, dei quali il terzo suono sarà il fondamentale.

servano sulle verghe cilindriche, infilando in quelle alcuni piccoli anelli di carta.

Ecco i principali resultamenti.

1.° Per verghe di egual materia, e diverse in grossezza e in lunghezza, il numero delle vibrazioni è proporzionale alle grossezze e in ragione inversa dei quadrati delle lunghezze. Da ciò resulta, che di due lame lunghe egualmente, la più grossa tramanda un suono più acuto.

2.° Per verghe di egual materia e di figura simile, e le grossezze delle quali abbiano fra loro un rapporto eguale a quello delle lunghezze, i numeri delle vibrazioni sono in ragione inversa delle radici cubiche dei pesi

3.° La larghezza non ha alcuna influenza sui suoni prodotti da verghe sottili vibrate trasversalmente.

599. Le verghe diritte possono vibrare ancora nel senso della loro lunghezza. Ciò può farsi in varie maniere, ma il miglior mezzo è fermarle all'estremità, fasciarle con un pezzo di panno bagnato, e così strisciarle nel senso della loro lunghezza. Nel far questo, bisogna sostenerle con l'altra mano in un punto, il quale diviene un nodo di vibrazione. Le suddivisioni delle verghe in parti aliquote, si ottengono egualmente che nelle esperienze sulle vibrazioni trasverse. I numeri delle vibrazioni longitudinali sono reciprocamente proporzionali alle lunghezze delle verghe, e i suoni così prodotti, sono molto più acuti di quelli prodotti da verghe egualmente lunghe, vibrate trasversalmente, quindi è che per ottener suoni alquanto distinti, bisogna adoprar verghe molto lunghe.

La serie dei suoni successivi è la stessa per le corde e per le verghe rigide, quando le une e le altre son vibrate longitudinalmente.

Due verghe o corde perfettamente cilindriche, di grossezza diseguale, ma egualmente lunghe, producono gli stessi suoni.

600. Savart ha osservato, che le linee nodali non sono corrispondenti sulle due superficie d'una stessa lama. Infatti, tenendo nel mezzo una lama, sulla superficie della quale sia sparsa sabbia fine, dalla disposizione di questa compariranno visibili i nodi. Se si ripeta l'esperienza sulla stessa lama rivoltata, diversa affatto resulterà la disposizione delle linee nodali; sicchè quelle d'una superficie corrisponderanno ai punti di mezzo delle parti vibranti dell'altra. Del resto, le suddivisioni variano secondo il punto per cui si tiene la lama fra le dita.

Questo resultamento potrà ottenersi con lame lunghe fra 2 e 4 millimetri. Del resto in ciascun caso si sente un suono distin-

to, corrispondente alla divisione principale stabilita dal punto di contatto; ma la moltiplicità delle linee nodali indica che se ne producon molti altri nel tempo medesimo. Lo stesso Fisico facendo le sue esperienze con lame di tal grossezza e lunghezza da poter egli studiare la configurazione delle linee nodali sopra ambedue le facce, ha veduto che tali linee formano altrettante spire continue, e che per un medesimo suono queste hanno direzioni e intervalli costanti. In queste esperienze medesime Savart attacca alla lama un'asta sottile di vetro, la confricazione della quale serve da eccitatore (*fig.* 416).

601. Chladni, guidato dall'analogia che passa fra i suoni tramandati dalle verghe cilindriche rigide, con quelli tramandati da colonne cilindriche d'aria contenute nei tubi degli strumenti a fiato, dai suoni delle prime ha potuto concludere le velocità del suono nel loro interno; e i suoi resultamenti sono perfettamente conformi a quelli che Laplace ha dedotti dalla teoria.

602. Dalle osservazioni dello stesso Chladni (*Acust.* p. 110) resulta ancora, che le verghe dritte son suscettive d'un altro modo di vibrazioni, che egli chiama *giranti*, le quali si producono imprimendo ad aste rigide una torsione più o meno forte. Ognuno comprende, che la forma delle verghe deve avere una certa influenza sulla natura dei moti dei quali son esse capaci, e in conseguenza sui suoni che tramandano.

603. Su questi principii è stato fatto il *Corista.* Esso è formato di due bracci curvi, un poco divergenti alla base, e convergenti all'estremità (*fig.* 417): nel loro maggiore intervallo AB si introduce un cilindro, che poi si fa passare per forza per le estremità convergenti C e D. Così i due bracci messi in vibrazione, producono un suono che è sempre lo stesso, quando lo stesso è il modo di vibrazione. Questo suono serve come di tipo invariabile per regolare il tuono di qualunque strumento. Un corista costruito in tal modo non dà che una sola nota; ma possono aversene dodici, graduate in modo da produrre i dodici semituoni dei quali è composta l'ottava intera.

Delle superficie vibranti

604. Le vibrazioni eccitate nelle lame elastiche per mezzo d'un arco col quale si fregano i loro orli, producono molti variati effetti.

Nelle superficie vibranti i limiti fra le ondulazioni son distinti da linee di riposo o linee nodali. Se si sparga sopra di esse un poco di sabbia o di qualche altra polvere sottile, que-

sta si riunisce nei punti in riposo, e produce figure più o meno composte, le quali spesso presentano una perfetta simmetria. In generale quando qualunque sistema rigido fa vibrazioni o trasverse o longitudinali, si divide in un certo numero di parti, le quali eseguiscono le loro vibrazioni separatamente. Tra i fatti di questo genere, dei quali Chladni con la costanza delle sue osservazioni ha arricchito questo ramo di Fisica, riporteremo qui solamente i casi più semplici.

Facciamo l'esperienza con lastre di vetro, uniformemente grosse, con superficie perfettamente piane e parallele, e con gli orli arrotati. Ordinariamente si tengono fra le dita, e se ne strisciano gli orli con un arco. Il suono più grave resulta da lastre quadre di metallo, di vetro o di qualche altra sostanza omogenea, tenuta fissa nel centro, e strisciata ad un angolo (*fig.* 418).

Col medesimo apparecchio, se si striscia l'arco nel mezzo d'un lato, la polvere si dispone come apparisce dalla *fig.* 419: allora le linee nodali passano per le diagonali, il suono prodotto è il più grave dopo il precedente, ed è precisamente la *quinta acuta* di quello. Variando la forma delle lastre e i punti d'applicazione dell'arco, vengono a prodursi diverse figure, alcune delle quali son rappresentate dalla *fig.* 420.

In lastre che non sono uniformemente elastiche in tutti i sensi, il modo di vibrazione cambia. Per esempio, in lastre di legno che abbiano il piano parallelo alla direzione delle fibre, le vibrazioni presentano certe variazioni particolari, perchè la reazione elastica delle lastre è maggiore nel senso delle loro fibre che in qualunque altro senso (1).

Savart ha trovato che posson trarsi alcuni suoni da membrane tese, solchè si faccia vibrare presso alla membrana tesa

(1) Savart, dai fenomeni osservati nelle lame vibranti, ha rilevata una verità forse tanto nuova per se stessa, quanto nuovo è stato il modo con cui l'ha dedotta. Nell'occuparsi in determinare lo stato elastico dei corpi, al che tendeva con questo metodo delle vibrazioni, ha trovato, che i metalli in vece d'essere omogenei, non sono che riunioni di sistemi cristallini, i quali hanno qualche volta una estensione molto considerevole, sicchè possono riguardarsi come altrettanti gruppi di cristalli più o meno voluminosi, e voltati per ogni direzione. Quasi in tutte le sostanze solide conosciute si rileva una struttura analoga a quella dei metalli, e sembra che quelli i quali compariscono ammassi o aggregati di materia polverulenta, come la creta, sieno i soli dotati d'un'elasticità sensibilmente uniforme in tutte le direzioni. In fine lo stesso Savart ha riconosciuto, che le particelle dei corpi i quali sono stati fusi, non subito dopo il raffreddamento arrivano ad uno stato d'equilibrio stabile, e che anzi per arrivarvi impiegano un tempo qualche volta molto considerevole.

una lastra solida che pur non la tocchi in verun punto, giacchè le vibrazioni della lastra solida si comunicano alla membrana per mezzo dell'aria. La qual comunicazione di moto è analoga a quanto abbiamo detto relativamente alle vibrazioni eccitate in molte corde per mezzo d'una corda sola in vibrazione.

Sono state studiate ancora le vibrazioni dei corpi di forma più composta, e particolarmente dei vasi, dei quali le superficie esterne ed interne fanno rivoluzione intorno ad un medesimo asse, il qual genere di vasi è adoprato nelle campane e nell'armonica. Lo strumento chiamato *armonica* è formato d'un certo numero di vasi di vetro, di egual forma e di grandezza diversa, i quali si metton poi in vibrazione o per mezzo d'un arco o con un dito bagnato.

Strumenti a fiato

605. Gli strumenti a fiato sono generalmente composti di tubi, la forma dei quali è variabile, e in cui l'aria è messa in vibrazione con varii mezzi nel senso della loro lunghezza. In questi strumenti l'aria è il vero corpo sonoro, poichè qualunque sia la materia e la grossezza delle pareti dei tubi, il suono è sempre lo stesso.

Non basta soffiare semplicemente in un tubo per produrre un suono, poichè in tal modo non si produce che un moto nella colonna d'aria che esso contiene; ma bisogna eccitare in un punto di questa colonna una successione rapida di condensazioni e di dilatazioni alternative, i quali moti alternativi trasmessi alla colonna d'aria, vi eccitano onde sonore.

Per determinare simili onde, basta far entrar l'aria per uno stretto orifizio, in modo che essa venga a rompersi in certo modo contro gli orli di esso come appunto accade quando si fischia in una chiave forata. Un *fischio* in generale è un tubo cilindrico tagliato a *ugna* presso all'orifizio; e l'aria che vien soffiata nel tubo, urta l'orlo di quest'ugna, e produce il suono. In tal modo son disposte le canne dell'organo, dette tubi a bocca o a flauto. (*fig.* 421): ad una certa distanza dall'estremità DD è un'apertura laterale B che si chiama *bocca*, perchè per essa esce la voce dal tubo; e la parte BC che è sopra questa apertura, si chiama il *labbro superiore*, che è schiacciato e rientrante; e appunto contro questa parte della parete viene a rompersi lo strato d'aria che mette in vibrazione la colonna. A tal effetto si unisce al tubo un cono *efg* che si chiama *piede*, perchè serve di piede al tubo quando è al suo posto. Il cono è aperto al vertice, e per questa apertura *g* passa l'aria dei mantici; ed è chiuso alla base con una

lastra metallica *ehk*, nella quale si fa un'apertura *hk* che si chiama *luce*. La parte AB della parete del tubo conico che è sotto la luce, e che si chiama *labbro inferiore* del tubo, è schiacciata e rientrante come il labbro superiore, formando con l'asse comune dei tubi un angolo di 22 ½ gradi. Disposto il tutto in tal modo, si soffia l' aria per il vertice del cono, la quale esce per la luce *hh'*, formando uno strato sottile che si spezza contro il labbro superiore BC. Se questo labbro è ben disposto, l'aria del tubo si mette in vibrazione; ma se è troppo o poco rientrante, il tubo *parla male* oppure *non parla*, e allora si modifica il labbro, finchè resulti un suono chiaro e distinto. Se l' apertura della bocca è troppo larga, il tubo non emetterà forse alcun suono, e se è troppo stretta, tramanderà un suono più alto del suono fondamentale che conviene alla sua lunghezza. La giusta apertura non può trovarsi che con la pratica, come pure con l' esperienza soltanto può determinarsi il rapporto fra la grandezza della bocca, quella della luce, e la lunghezza delle labbra.

Un certo rapporto debbon anco avere tra loro la lunghezza e la grossezza dei tubi. La forza con cui lo strato d'aria introdotta urta la colonna d'aria contenuta nel tubo deve esser proporzionata alla massa d' aria da scuotersi. Per i piccoli tubi, come per il flauto traverso, basta il solo soffio della bocca; ma per le canne d' organo è necessario un soffio molto forte.

L'estremità del tubo può esser chiusa o aperta: in ambedue i casi resultano suoni, e solamente il tuono ne è diverso. Del resto, relativamente alle varie forme che possono avere i tubi, si possono consultare i Trattati d' Acustica.

Per provare che l'aria è realmente il corpo sonoro, si costruiscono diversi tubi eguali in tutto, e diversi solo in materia; si adattano successivamente sopra un tubo conico munito della sua bocca e della sua luce: allora se per mezzo d' un mantice si introduce una corrente d' aria per l' apertura *g*, con tutti i tubi si ottiene lo stesso suono. L' esperienza riesce molto bene con tubi di vetro, di rame, di legno e di carta. Si intende però che qui si parla soltanto del tuono, giacchè in quanto alla sonorità o allo squillo, è vario per ogni sostanza.

Teoria degli Strumenti a fiato

606. La Teoria degli Strumenti a fiato è stata trattata matematicamente da molti Geometri, ma qui noi non possiamo trattarla che in un modo elementare, e in ciò seguiremo le tracce di Daniele Bernoulli (*Mem. de l' Ac.* 1762).

Poichè le vibrazioni dell' aria in un tubo son piccolissime, è troppo difficile determinarle immediatamente con l' esperienza.

Bisogna dunque ricorrere ad un' ipotesi; e se poi questa, introdotta nel calcolo, dia tali resultamenti che vengano confermati dell' esperienza, l' ipotesi diverrà certezza.

Applichiamo dunque quest' ipotesi alle canne d' organo: queste sono di due specie, alcune son chiuse ad un' estremità, altre sono aperte da ambedue.

1.° Sia primieramente un tubo ABCD (*fig.* 422) chiuso all' estremità AB, e aperto all' estremità CD, e si faccia suonare soffiando per l' orifizio aperto: l'aria che in esso è contenuta, verrà messa in vibrazione, sicchè ciascuno degli strati che compongono la colonna di questo fluido, si allontanerà dal fondo e vi si avvicinerà a vicenda. Ogni molecola aerea percorrerà uno spazio tanto maggiore quanto sarà più lontana dal fondo AB, dimanierachè gli spostamenti dello strato *bb'* saranno maggiori di quelli dello strato *aa'*.

Chiameremo *vibrazione* il moto totale della colonna d' aria che resulta da tutti gli spostamenti insieme. Ora dalle esperienze resulta, che le vibrazioni son tanto più lente quanto più lungo è il tubo, sicchè se un tubo divenga doppio, doppia pure diviene una tal durata, e il suono che esso tramanda è l'ottava bassa dell'altro.

Gli spostamenti d' ogni strato d' aria separatamente considerato, o grandi o piccoli che sieno, sono isocroni, il che è la causa dell' identità del tuono formato da un tubo stesso. Al contrario sono sincroni gli spostamenti dei diversi strati, cioè cominciano e terminano nello stesso tempo, senza di che non potrebbero formare un suono sostenuto: bisogna dunque che lo strato d'aria presso all'orifizio entri nel tubo, e ne esca alternativamente. Da ciò segue, che l'aria del tubo è alternativamente un poco condensata e rarefatta; ma queste piccole condensazioni e rarefazioni alternative son diseguali nei diversi punti del tubo, e son maggiori nel fondo AB, e vanno scemando fino all' orifizio CD in cui son nulle.

Quando le vibrazioni accadono nel modo che abbiamo esposto, formano il più grave suono che possa trarsi da un tubo chiuso ad un' estremità.

2.° Sia ora un tubo AHKB (*fig.* 423) aperto ad ambedue le estremità. Per ipotesi si ammette che nel mezzo del tubo si formi una separazione HK, e che le vibrazioni accadano in ciascuna metà del tubo come in un tubo chiuso ad un' estremità; dimanierachè gli strati d' aria egualmente lontani dallo strato immobile HK, soffrono spostamenti eguali ed opposti Secondo questa spiegazione, il tuono d' un tubo cilindrico, aperto da ambedue le estremità, deve essere eguale a quello d' un tubo chiuso, che sia lungo la metà; e ciò appunto resulta dalle esperienze. Ma poichè nei tubi aperti il suono è raddoppiato con una con-

sonanza perfetta, e i moti alternativi in alto e in basso sono perfettamente armonici, questo suono è più forte e più grato di quello dei tubi chiusi ad un'estremità soltanto.

3.° Consideriamo finalmente un tubo ALOB (*fig.* 424) chiuso ad ambedue le estremità, ma tale però che l'aria da esso contenuta possa esser messa in vibrazione: in tale stato potremo imaginarci il tubo come composto di due parti ALO e BLO; ciascuna parte formerà un tubo chiuso in A o in B, e aperto in LO, e gli spostamenti dell'aria accaderanno tutti nel medesimo senso da un fondo all'altro. Così mentre gli strati della parte ALO si condenseranno in A, quelli della parte BLO si rarefaranno in B, e lo strato d'aria del mezzo LO conserverà la sua densità naturale.

Se si faccia una piccola apertura in L, si avrà facilmente un suono dal tubo ALOB, il tuono del quale sarà quello che corrisponde al tubo ABCD della *fig* 422, supponendo questo lungo la metà di quello.

4.° Se le vibrazioni si producessero sempre in questa maniera, lo stesso tubo non farebbe sentire che un solo suono; ma poichè è provato che da un solo tubo possono trarsi più suoni, bisogna che le vibrazioni possano in esso prodursi in più modi.

Ecco come più e diversi suoni possono ottenersi da una medesima colonna d'aria. Si divida un tubo in parti eguali, ma in numero dispari, e cominciando dall'estremità chiusa, si prendano queste parti a due a due, dopo di che ne resterà una presso all'estremità aperta. È chiaro che ciascun paio di parti potrà riguardarsi come un tubo chiuso alle due estremità, tutti questi tubi saranno consonanti fra loro e con l'ultimo, il quale è lungo la metà di quelli, ed è chiuso soltanto ad un'estremità.

Sia AB (*fig.* 415) un tubo chiuso all'estremità A e aperto all'estremità D: figuriamoci questo tubo diviso in cinque parti eguali AE, EB, BF, FC, CD. Nelle vibrazioni gli strati di aria BB, CC resteranno immobili; nelle due parti AB, BC le vibrazioni si produrranno come in un tubo chiuso alle due estremità, e mentre quelle della parte AB anderanno da dritta a sinistra, quelle della parte BC anderanno da sinistra a dritta, e poi quelle di CD da dritta a sinistra; la quale alternativa avrà sempre luogo, qualunque sia la lunghezza del tubo. Così tutte le vibrazioni del tubo saranno isocrone e sincrone. In questa teoria il tuono del tubo sarà eguale a quello d'un tubo chiuso ad un'estremità, lungo quanto CD, e in cui le vibrazioni accaderanno secondo la legge descritta in principio.

Secondo l'indicata costruzione, questa porzione CD può

essere $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{5}$, $\frac{1}{7}$ della lunghezza totale del tubo. Dall' altra parte si sa, che i suoni più gravi dei tubi di lunghezza diversa, sono in ragion reciproca di queste lunghezze. Così i suoni accessorii che successivamente posson trarsi da uno stesso tubo, sono 3, 5, 7, i quali uniti al suono fondamentale 1, formano la serie naturale dei numeri dispari. La qual teoria è confermata da un' esperienza del Bernoulli, che da un flauto traverso, con tutti i buchi serrati, ha prodotti successivamente i suoni 1, 3, 5, 7. E poichè col calcolo si dimostra, che l' intervallo fra due nodi è eguale alla metà dello spazio che il suono percorre nel fluido d' un tubo in tempo d' una vibrazione, e però questo intervallo può sempre esser noto, lo stesso Bernoulli, appoggiato a tal principio, presenta un' altra esperienza, che serve di conferma alla precedente teoria. Se con uno stantuffo mobile si chiuda ad un' estremità un tubo, questo tramanderà un certo suono, che sarà sempre lo stesso se si spinga gradatamente lo stantuffo in modo da fargli percorrere uno spazio eguale all' intervallo di due nodi.

5.° Questo celebre Geometra ha trovato ancora, che da tubi aperti ad ambedue le estremità possono ottenersi tali suoni, che sieno nei rapporti di 2, 4, 6,..., solo col modificare opportunamente la forza dell' aria che in essi si spinge.

Dopo tutto questo si intende facilmente in qual modo si producono i suoni nel flauto. Quando si fora un tubo con un buco laterale in un ventre, il suono prodotto dallo strumento resta sempre lo stesso, purchè rimanga la stessa l' imboccatura e la maniera di soffiare; mentre il suono cambia, se il foro è fatto in un altro punto. Con tutti gli altri buchi chiusi, il flauto tramanda un certo suono, che è il più grave di tutti quelli che può produrre. Variando la maniera di soffiare, si otterrà una serie di suoni che sarà come i numeri naturali 1, 2, 3, 4, 5; ed altri suoni intermedii potranno ancora ottenersi, aprendo successivamente uno o più buchi laterali.

La serie dei suoni prodotti dagli strumenti curvi come il serpentone, o formati di più tubi curvi come il corno, è la stessa che per tubi rettilinei d' egual lunghezza.

Ecco la teoria degli strumenti a fiato, esposta con la maggior possibile semplicità. Si aggiunga soltanto, che il tuono fondamentale che tramanda un tubo d' una data lunghezza, è più grave di quello che viene indicato dal calcolo. Questa differenza è massima nel gas idrogene, giacchè in esso il tuono che resulta dall' esperienza è quasi l' ottava bassa del tuono calcolato.

Per uno sviluppo più circostanziato ed esteso di questa teoria, si consulti, oltre l' Acustica di Chladni e la Memoria

del Bernoulli, la Meccanica di Lagrange e la Memoria di Poisson. (*Journ. de l' Ec. Polyt.* 14 cahier, oppure *An. ch.* t. 10).

Strumenti a linguetta

607. Vi sono alcuni tubi nei quali l'aria, quando entra, fa vibrare una lama sottile di metallo che si chiama *linguetta*. AB (*fig.* 425) è questa linguetta fissata in B sopra un pezzo cilindrico EC di legno o di metallo, scavato a guisa di doccia o canale. Questo apparecchio si introduce in un' apertura D semicircolare, fatta nel centro d'un tappo H che chiude esattamente il tubo *nmp*: l'aria introdotta per l'apertura *g* dovrà incamminarsi lungo il canaletto EC per escire. Ma perchè questo è piccolissimo, relativamente al diametro del tubo *nmp*, l'aria, almeno se entra in abbondanza, premerà la linguetta AB contro il canaletto, e lo chiuderà: subito però, in virtù della sua elasticità, tornerà nella sua primitiva situazione, lascerà di nuovo passar l'aria, verrà premuta di nuovo, e così di seguito. Se si fissa l'orifizio *g* sul canale d'un mantice da organo, l'azione della linguetta diverrà tanto rapida, che il suo suono sarà più acuto, ma ordinariamente molto roco; ed è questa la ragione per cui si riuniscono altri tubi che rendono il suono più dolce, e ne accrescono la forza.

La maggiore o minore elevatezza del suono tramandato da un tubo a linguetta, dipende specialmente dalla lunghezza della linguetta stessa, valutata dal punto in cui è fissata in B, dalla sua elasticità, dalla sua massa e dalla sua curvatura, giacchè dalla modificazione di questi elementi resulta pure una modificazione nel tuono.

Un grosso filo di ferro *qt*, curvato in basso, viene introdotto a incastro, nel tappo che riceve la linguetta, e può introdurvisi più o meno profondamente: e poichè preme con la sua parte curva sulla linguetta, serve ad allungarla o raccorciarla, cioè a rendere il suono più grave o più acuto.

Nelle canne d'organo, nei clarinetti e in altri simili strumenti a fiato a linguetta, questa non si usa mai sola, ma si cerca di rinforzare le onde sonore che essa produce, riconcentrandole in un tubo, al quale essa trasmette l'aria che riceve per il canaletto.

Il tuono d'una linguetta resta costante, qualunque sia il gas che la mette in vibrazione.

Grenier ha fatto alla linguetta un' importantissima modificazione. Ha formato di legno o di rame il canaletto BC, ma a

canto vivo, e gli ha data la forma di parallepipedo piano. La linguetta è d'ottone, e per mezzo del solito ferretto ricurvo si fissa in un punto a piacere. Essa può entrare nel canaletto, sicchè non urta più contro una materia solida, ma contro l'aria stessa, e il suono ne è molto più dolce, più eguale e più armonico.

Qui ci sembra opportuno il parlare della *Sirena* di Cagniard-Latour. Il principio di questo ingegnoso strumento (*fig.* 426) consiste nel far escire una corrente d'aria per un piccolo orifizio, in faccia al quale è disposto un piatto circolare, mobile sopra un asse che passa per il centro. Questo piatto vien messo in moto o dalla corrente stessa dell'aria o da un agente meccanico. La parte della superficie del piatto che successivamente si trova davanti all' orifizio, è traforata con aperture oblique egualmente distanti fra loro, e che formano un circolo intorno all' asse. Da questa disposizione si rileva in qual maniera il moto del piatto produce un suono. Infatti l'aria quando esce dall' orifizio, incontrando successivamente i fori e il piatto, è nel caso della colonna d'aria che viene ad urtare la linguetta d'uno strumento a fiato. E Cagniard stesso ha osservato, che per un egual numero d'intermittenze il suono era lo stesso, o fosse l'aria o l'acqua il motore del piatto (*An. ch.* t. 12).

Anco una corrente di gas idrogene acceso produce un suono, passando per un tubo di vetro, il che si spiega facilmente, riflettendo che l'elevazione di temperatura fa salire una corrente di gas e di vapore acquoso, la qual corrente produce le vibrazioni dalle quali resulta il suono. Questo fenomeno è stato posto in chiara vista da Faraday in una sua Memoria, inserita nel t. 32 degli *An. ch.* ec. (1).

Comunicazione dei moti vibratorii

608. La comunicazione dei suoni è un fatto di cui frequentemente siamo testimoni; e dove sieno molti strumenti, spesso vediamo che mettendone uno in vibrazione, qualcun altro pure risuona.

La costruzione degli strumenti a corda è fondata su questa comunicazione. Una corda tesa sopra una stretta riga di legno

(1) Questo apparecchio è stato chiamato *armonica chimica*. Si fa escire il gas idrogene dal vaso in cui si sviluppa, per un orifizio conico quasi capillare, e dopo aver lasciato aperto l'orifizio alquanto tempo, perchè non resti sospetto di presenza d'aria, a scanso d'esplosione, si accende il gas, e sulla fiamma si pone un cilindro di vetro ben prosciugato e chiuso all'estremità superiore, lungo 12 o 14 poll., e di 2 poll. di diametro. Così si ottiene un suono armonico che può variarsi alzando più o meno il cilindro.

non produrrebbe che un debole effetto, mentre lo produce molto considerevole se venga tesa sopra una tavola, perchè questa partecipa delle vibrazioni della corda, e si divide in parti vibranti alternativamente al di qua e al di là, separate da linee nodali, quasi come nelle vibrazioni proprie delle lastre. Se non che in un pianforte non tutti i punti del piano accrescono egualmente l'intensità di tutti i suoni (*Chladni* p. 323).

Per rendere più sensibile l'influenza della comunicazione del moto negli strumenti, della quale già vedemmo (n.° 596) un' esperienza di Sauveur, si faccia vibrare nell' aria un corista, quindi si appoggi per il piede sopra una tavola, e il suo suono sarà molto più intenso: anzi, se dopo vibrato, si aspetti che non faccia più sentire alcun suono nell'aria, posato sulla tavola lo tramanderà ancora molto distinto. Così è evidente la comunicazione del suono tanto per mezzo dell'aria, quanto per mezzo dei corpi solidi. Anzi Chladni stesso ha osservata un' analogia fra le vibrazioni delle casse dei pianforti e degli altri strumenti, e quella delle lastre. E Savart, per studiare appunto un tal rapporto fra le vibrazioni delle corde e quelle delle lastre o tavole alle quali sono fissate, ha fatta la seguente esperienza. Sopra un sostegno *mn* (*fig.* 427) si fissano due tavole d' abete AB, AB'; quindi vi si fissa una tavoletta BD coperta di sabbia, e si uniscono AB e BD con una corda da violino: quindi per mezzo d'un arco si eccita la corda successivamente in un senso parallelo e perpendicolare alla tavoletta, determinando in tal modo in questa le linee nodali; e dalla disposizione della forma di queste linee apparisce, che la tavoletta vibra nel senso stesso della corda.

Anzi, anco a più lastre o verghe, disposte le une sotto le altre (*fig.* 428), si trasmette la comunicazione delle vibrazioni. Se si vibra la prima verga *mn* trasversalmente per mezzo d'un arco, le vibrazioni di questa verga si comunicano a tutte le verghe che compongono il sistema, ma in modo che la seconda è scossa longitudinalmente, la terza trasversalmente, e così di seguito.

Organo dell' udito

Studiando i fenomeni ottici vedemmo con qual' arte la Natura ha combinate le diverse parti dell' occhio, nel quale si osservano maravigliosamente combinati tutti i perfezionamenti, che soltanto a poco a poco sono stati fatti nei canocchiali. Ora vedremo che non meno ingegnosa ci comparisce la Natura stessa nella costruzione degli organi dell' udito e della voce.

Dell' udito

609. Nell' organo dell' udito si distinguono tre parti; cioè l' *orecchio esterno*, *l' orecchio medio e l' orecchio interno.*

L' orecchio esterno comprende 1.° il *padiglione*, che è una dilatazione adattata a raccogliere le onde sonore; 2.° il *condotto uditorio esterno*, che insieme col padiglione forma una specie d' imbuto, in fondo al quale è la *membrana del timpano.* Questa membrana elastica e mediocremente tesa propaga i suoni. quantunque non sia essenziale per udire, giacchè la sua rottura non altera sensibilmente questa facoltà.

L' *orecchio medio*, separato dall'orecchio esterno per mezzo della membrana del timpano, consiste in una cassa, detta *cassa del timpano.* Questa è come smaltata di una membrana umida, e contiene quattro ossicini che si chiamano *martello*, *incudine*, *ossetto orbicolare e staffa*, i quali formano una catena continua, l'estremità esterna della quale si attacca alla membrana del timpano, e l' interna, formata dalla base della staffa, chiude un' apertura ovale, chiamata finestra ovale, situata nel fondo della cassa del timpano, che mette questa cavità in comunicazione con quella parte dell' orecchio interno che è chiamata *chiocciola.* I quattro ossicini indicati son messi in moto da muscoli particolari. In fondo alla cassa del timpano è un' altro foro, chiamato finestra rotonda, il quale è chiuso da una membrana.

La cavità del timpano comunica con la faringe per mezzo d' un piccolo condotto, chiamato *tromba d' Eustachio*, per il quale può passare l'aria esterna; e si crede che senza questa comunicazione non sia possibile la percezione dei suoni.

L'*orecchio interno* è composto 1.° della *chiocciola*, canale osseo avvolto a spirale, e che viene ad aprirsi nel vestibolo; 2.° del *vestibolo*, il quale è una cavità piuttosto grande, piena d'un liquido sieroso, che esiste in tutti gli animali dotati di questo organo, e contenuta in piccoli sacchi membranosi, uno dei quali comunica con le altre parti dell' orecchio interno, e l'altro è perfettamente isolato, e in questo liquido si distende il nervo acustico: questi due apparecchi sono nella parte anteriore dell'orecchio interno. 3.° dalla parte posteriore poi è composto di *canali semicircolari*, due verticali e due orizzontali, che comunicano fra loro e col vestibolo. La riunione di queste tre parti componenti l' orecchio interno, si chiama *laberinto.*

Da questa disposizione delle diverse parti dell' organo dell' udito apparisce, che le ondulazioni sonore, urtando immediatamente la membrana del timpano, dall' aria e dalla catena degli

ossicini son trasmesse alle pareti del laberinto, e di là al nervo acustico per mezzo del liquido.

Queste parti però, delle quali è composto l'organo dell'udito, non sembrano tutte necessarie perchè abbia luogo questa sensazione. Infatti si sa per esperienza, che oltre alla rottura della membrana, come accennammo di sopra, il distacco ancora dei tre primi ossicini non produce la cessazione dell' udire, purchè però sussista la membrana che chiude la finestra rotonda, e la staffa resti applicata alla finestra ovale. Ma se la staffa cade, e se la membrana che chiude il laberinto si rompe, in modo da aprir l'escita al liquido che contiene, ne segue sempre la sordità. Dunque l'esistenza d'un nervo acustico, e la sua espansione in un liquido. per mezzo del quale riceve le vibrazioni sonore, sono le due sole condizioni necessarie alla sensazione dell' udito.

Del resto appartiene alla Fisiologia e all' Anatomia l'esame della costruzione di questo, come degli altri organi, per comprender l'uso d'ognuna delle parti che lo compongono.

Della voce

610. Fin dal 1735 l'anatomico Senac, nel suo trattato d'Anatomia, aveva presentate alcune idee giustissime intorno all'organo della voce; e Ferrein nel 1741 aveva pubblicato una memoria piena d'esperienze, perfettamente concordi con le più recenti osservazioni su questo proposito.

L'organo della voce è la *laringe*. Questa è una cavità formata di cartilagini, più grande nell'uomo che nella donna, e che acquista il suo pieno sviluppo all'epoca della pubertà, e si conserva costantemente aperta per effetto dell' elasticità e della resistenza delle cartilagini. La laringe, per la parte inferiore, comunica con la *trachea arteria*, la quale è un tubo cartilagineo-membranoso, che inferiormente si divide in due grossi tronchi, chiamati *bronchi*, i quali si ramificano per andare a distribuir l'aria in tutti i punti della massa polmonare; e per la parte superiore comunica con la parte posteriore della bocca, per mezzo d'un'apertura bislunga dall' indietro in avanti chiamata *glottide*. L'orifizio della glottide è munito di piccoli muscoli, due inferiori e due superiori, detti *ligamenti della glottide* o *corde di Ferrein*, perchè quell' anatomico li considerava come quelli che producono la voce, a somiglianza delle corde d'uno strumento. Lo spazio compreso fra i ligamenti superiori e gl'inferiori, forma una piccola cavità chiamata *ventricolo della laringe*, la quale si dilata o si contrae per effetto della maggiore o minor contrazione dei li-

gamenti della glottide, e così modifica i suoni. La laringe può ancora esser mossa totalmente per mezzo di alcuni muscoli, i quali si attaccano alla superficie esterna delle sue pareti; e secondo che essa viene elevata più o meno, più o meno acuti resultano i suoni vocali. Sopra la glottide è una membrana cartilaginea, chiamata *epiglottide*, che nello stato ordinario sta sollevata per effetto della sua elasticità, per lasciare che l'aria passi nei polmoni, e si abbassa poi nell'atto della deglutizione, perchè gli alimenti vadano per l'esofago, senza introdursi nelle vie aeree, dove produrrebbero soffogazione.

Da questa descrizione apparisce chiaramente, che strana e neppur meritevole d'esser confutata è l'opinione di chi riguarda l'organo della voce come uno strumento a corda, dacchè anzi ha tutti i caratteri di strumento a fiato a linguetta libera; nel quale il petto fa le funzioni di mantice, la trachea è il condotto che vi porta l'aria, la glottide rappresenta la linguetta, e la bocca è il tubo per il quale esce l'aria vibrata.

Fa però maraviglia che sia capace di tanta varietà di suoni un apparecchio, nel quale il solo elemento variabile è il potere che hanno i polmoni di tramandar l'aria. Bisogna dunque convenire, che tal varietà dipende dalle modificazioni di tutte le parti dell'organo, e specialmente della glottide. Magendie facendo su questo proposito alcune esperienze sui cani, ha trovato che per i suoni gravi le labbra della glottide vibrano in tutta la loro estensione, mentre per i suoni acuti esse si ristringono in modo da scemare la porzione vibrante, non lasciando che una piccolissima apertura. Tutto questo combina perfettamente con l'azione delle linguette negli strumenti a fiato.

Anco Grenier ha fatto su ciò varie esperienze, dalle quali ha riconosciuto che per mezzo dell'epiglottide possiamo regolare i suoni senza alterarli. Si sa infatti che il tuono d'un suono prodotto da un tubo a linguetta cambia, quando la forza dell'aria prova grandi variazioni d'intensità. Ora, Grenier mettendo alcune striscie di carta sopra le linguette d'uno strumento a fiato, ha veduto che il suono restava nondimeno lo stesso.

Negli strumenti a linguetta, il tubo influisce moltissimo sulla sonorità; e nella voce umana, la bocca ed il condotto gutturale producono lo stesso effetto: quindi la sonorità della voce sarà totalmente cambiata, se il condotto gutturale è forato al di sopra della laringe; e lo stesso accaderà se un ostacolo qualunque si opponga al libero passaggio dell'aria per le fosse nasali, il che si dice *parlar col naso*. Accaderà l'oppo-

sto, se il foro sia al di sotto della laringe; allora l'aria escendo prima d'arrivare alla glottide, non ha luogo produzione di suoni, come appunto accaderebbe forando il *bocchino* d' uno strumento.

L'estensione della voce umana è circa tre ottave: la voce della femmina e del fanciullo è più acuta, perchè le labbra della glottide sono in loro più corte, e meno ampia e la laringe.

In quanto agli animali, quelli dotati di polmoni, cioè i mammiferi, gli uccelli e i rettili, sono i soli che abbiano una vera voce, e questo organo è in tutti uno strumento a linguetta libera. I mammiferi e i rettili hanno come l'uomo una sola glottide, situata verso il punto in cui la trachea termina nella bocca. Negli uccelli, all'origine della trachea, sopra un rigonfiamento chiamato laringe inferiore, è una lama saliente in forma di linguetta; e se si taglia il collo ad uno degli uccelli gridatori molto lungi dalla testa, esso seguita a gridare come prima.

Questo saggio sull'organo vocale degli animali è preso dalle Lezioni d'Anatomia di Cuvier. Più recentemente Savart ha esposte le sue belle osservazioni sulla voce degli uccelli, rilevate in un gran numero di dissezioni che ha fatte di questi animali, e merita d'esser consultata la sua Memoria inserita nel t. 32 degli *An. de chim. et phys.* (*a*).

(*a*) Negli stessi *An. de Chim.* si trova inserita (t. 13) una Mem. di Humboldt sull'aumento notturno dell'intensità del suono; come pure un'altra di Wollaston (t. 16) sui suoni ai quali alcuni orecchi sono insensibili.

METEOROLOGIA

611. È stato dato il nome di *meteorologia* a quella parte della Fisica, la quale tratta dei fenomeni che accadono nell'aria. I principali, che ora studieremo, sono la pioggia, la neve, la grandine, la rugiada, le nebbie e i venti, gli aeroliti, l'aurora boreale, ec. Parleremo pure delle temperature dei climi, di quelle dei luoghi profondi, ec.

Della Pioggia e delle Nubi

612. Quando parlammo dell'evaporazione vedemmo, che ad una data temperatura, uno spazio limitato non è capace che di una limitata quantità di vapore; e che appena si scema o lo spazio o la temperatura, il vapore si condensa e ci comparisce all'occhio in diversi stati. Partendo da questa osservazione, la formazione della pioggia può concepirsi nella maniera seguente. Sieno due masse d'aria saturate, a temperature diverse: in tal caso, secondo la teoria si troverà, che in virtù della legge del rapido accrescimento della forza elastica dei vapori (n.° 97), lo spazio sarà soprassaturato, e lascerà precipitare una parte dell'acqua che contiene.

Infatti, sieno OA e OB (*fig.* 429) le temperature di due volumi d'aria; sieno AC e BD le elasticità o le quantità di vapore contenute in ognuno; la quantità di vapore in ciascun volume, dopo la mescolanza, sarà $\frac{AC+BD}{2}$, ossia EF: ma EF è maggiore di EH, che rappresenta la quantità di vapore corrispondente alla temperatura della mescolanza: dunque si precipiterà una quantità di vapore eguale ad HF.

Perchè abbia luogo la precipitazione dell'acqua, è da osservarsi che basta che la curva la quale rappresenta la legge delle quantità di vapore dell'aria, sia convessa verso l'asse delle ascisse OB, o che queste quantità crescano più che proporzionalmente alla temperatura.

La precipitazione è tanto più considerevole quanto più alta è la temperatura, quindi in maggior abbondanza cade la pioggia nei paesi più caldi e nelle più calde stagioni. Leslie pensa ancora, che lo sfregamento di due masse d'aria saturata, e a temperature diverse, basti a produrre una pioggia leggiera (*Heat and moisture*, 130).

Nella spiegazione che abbiam data della pioggia, si sup-

pone l'esistenza delle correnti d'aria. Infatti è stato osservato 1.° che la pioggia è rara quando i venti son costanti in una certa direzione, e che spesso al cambiar del vento piove: 2.° che sotto i tropici la stagione piovosa arriva quando il Sole si avvicina allo zenith, epoca della maggior variazione de' venti. Nei nostri climi è raro che piova senza che cambi vento, come pure è raro che il vento cambi senza esser foriero di pioggia. Le indicazioni stesse del barometro confermano questa verità, giacchè se l'abbassamento della colonna di mercurio indica per lo più cattivo tempo, i cambiamenti di pressione dell'atmosfera indicano appunto una rottura d'equilibrio, e in conseguenza più o meno forti agitazioni.

Vi sono alcune regioni nelle quali, anco per considerevoli estensioni, non piove mai; e questi sono i paesi situati nell'interno dei Continenti, e privi di montagne, le quali contribuiscono alla mescolanza dei diversi strati d'aria. Infatti se in quei deserti si trova una montagna, questa determina la precipitazione dell'umido, che per lo più apparisce in forma di rugiada.

613. La quantità d'acqua che cade in uno stesso paese, è varia da un anno all'altro, ma piccola è questa varietà se si prenda un medio di molti anni, almeno secondo ciò che ha rilevato Arago a Parigi, esaminando le osservazioni continue di 130 anni.

I paesi nei quali cadono più di 25 pollici d'acqua son paesi umidi. Ecco una tavola che indica in centimetri la quantità media d'acqua che cade annualmente in diversi luoghi.

Capo Francese (San-Domingo). . .	308
Granata (alle Antille).	284
Tivoli (San-Domingo).	273
Garfagnana (Ducato di Modena). .	249
Calcutta.	205
Kendal (Inghilterra).	156
Genova.	140
Charlestown.	130
Pisa.	124
Napoli.	95
Douvres.	95
Milano.	94
Liverpool.	86
Manchester.	84
Firenze	84
Venezia.	81

Lilla.	76
Utrecht.	73
Londra.	53
Parigi.	53
Pietroburgo.	46
Upsal.	43

Da questa tavola si rileva, che la quantità d'acqua caduta è tanto maggiore, quanto un paese è più vicino all'equatore, conseguenza perfettamente conforme alle osservazioni di Humboldt, che appunto in tali paesi trovò sempre che l'aria era più umida.

EPOCHE DELL' OSSERVAZIONE	Lat. del luogo	DATI		Quantità di vapore contenuto nell' aria	
		Term.	Igrom.	a satur. gram.	realm. gram.
9 Giugno 1799.	39° 10′	14°,5	82°,0	14,6	11,4
15.	30 36	10 ,0	85 7	20,0	16,2
16.	29 18	20 ,0	83 8	20,0	15,7
30.	18 35	21 ,2	81 5	21,3	16,0
4 Luglio. . . .	16 19	22 ,5	88 0	22,9	19,0
10.	12 34	24 ,0	89 0	24,8	21,5
12.	10 46	25 ,4	90 0	26,7	23,5
14.	11 1	25 ,0	92 0	26,8	23,8

Lo strumento che si adopra per misurar l'acqua caduta si chiama *idrometro* o volgarmente *pluviometro*, e consiste in un imbuto col collo dentro ad un vaso chiuso (*fig.* 430). Di tanto in tanto si riceve l'acqua del vaso inferiore in un altro vaso, la capacità del quale ha per misura la superficie dell' imbuto moltiplicata per un millimetro; sicchè il numero di queste misure

indica il numero di centimetri d'acqua caduta nel luogo dell'osservazione.

È stato osservato che le gocce d'acqua della pioggia convergono fra loro tanto più, quanto più si avvicinano alla superficie della Terra; e infatti dei due idrometri simili, situati uno nella parte più alta dell' Osservatorio di Parigi, e l' altro nel cortile, questo indica sempre una quantità maggiore di pioggia.

RESULTAMENTI

Pioggia nell' idrometro superiore alto 28m		Pioggia nell'idrometro inferiore
1822	Cent. 42,3	47,7
1821	58,4	54,6

Sotto eguali latitudini, la quantità di pioggia che cade in un paese è modificata dalla località, dalla forma, ec. del paese medesimo. Per esempio le montagne d' un paese vicino al mare, determineranno il raffreddamento dell' aria saturata venuta dal mare, e in conseguenza la precipitazione d'una gran quantità di acqua. Così si spiega la frequenza delle pioggie nella Norvegia, e nelle coste occidentali e orientali dell'Affrica. Così pure si spiega l' aridità delle vicinanze di Madrid, poichè l' aria che vien dal mare, ha lasciato la maggior parte del suo umido sulle alte cime delle fredde montagne che chiudono il piano centrale, e arriva asciuttissima a Madrid.

614. Secondo Saussure, il vapore nel momento in cui si precipita dall' aria, si trasforma in una moltitudine di piccole sfere vote, che sono state designate col nome di *vescichette*. Le nubi e le nebbie son formate da una riunione di queste vescichette. Saussure le ha esaminate con una lente, ed ha trovato che sono di figura sferica; e inoltre, situatosi in una nube, ha veduto queste particelle di cui era composta la nube, galleggiare ed aggirarsi nell'aria con tal leggerezza, che comparivano evidentemente vote. Lo stesso Fisico si è assicurato ancora, servendosi sempre d' una lente, che il fumo il quale si forma nell' aria sopra un liquido nero, è composto di grani rotondi e biancastri. Da molto tempo è noto, che le nubi non formano arco-baleno, e ciò pure prova che esse son composte di vescichette vote.

615. Fresnel ha dato ultimamente una spiegazione dell'ascensione delle nubi, indipendente dalla costituzione dei globetti d'acqua o di vapore vescicolare che le compongono, ed egualmente applicabile al caso in cui una nube fosse formata d' una riunione di cristalli di neve sottilissimi, come ciò può accadere

per le alte regioni dell'atmosfera, e come si ammette per gli aloni, ec. Fonda egli questa sua spiegazione sulla proprietà che ha l'aria e qualunque altro gas, di lasciar passare i raggi solari, e anco il calore raggiante, senza riscaldarsi sensibilmente; e che per alzare la loro temperatura è necessario il contatto dei corpi solidi o liquidi, riscaldati da questi medesimi raggi luminosi o calorifici. Ciò supposto, se una nube è formata di globetti d'acqua o di sottilissimi cristalli di ghiaccio, questi globetti o cristalli saranno riscaldati dai raggi solari, ed alzeranno quindi la temperatura dell'aria con la quale son mescolati; dimanierachè si intende che l'aria compresa nell'interno della nube o vicinissima alla sua superficie, sarà più leggiera dell'aria circostante. Quando il peso totale della nube sarà minore del peso d'un egual volume d'aria, la nube s'alzerà, finchè si trovi in una regione ove la densità dell'aria sia eguale alla sua.

L'aria dell'interno della nube deve sicuramente sprigionarsi a poco a poco, ma però lentamente, perchè piccoli son gl'intervalli lasciati fra i globetti; e dall'altra parte anco questo moto dell'aria favorisce l'ascensione delle nubi.

Nel docorso della notte la nube è priva dei raggi solari, e quindi la sua temperatura scema; ed è chiaro che scemerà tanto più lentamente quanto sarà più densa. Ma dall'altra parte essa non cessa di ricevere i raggi calorifici tramandati dalla Terra; e ciò ancora contribuisce a ritardare il suo raffreddamento. Del resto si osserva che in generale le nubi dopo il tramontar del Sole si abbassano sensibilmente, il che è conforme a questa teoria.

Come dunque può accadere, che una nube formata di piccoli ghiaccioli produca la pioggia? Se la temperatura si abbassi tanto, che la nube divenga più densa dell'aria circostante, questa nube caderà; e nel cadere incontrando strati d'aria più calda, potrà cambiarsi in pioggia, anco quando fosse formata di ghiaccioli.

Qualunque poi sia la costituzione delle nubi, la loro ascensione e la loro sospensione nell'aria dipende dalla loro gravità specifica, che deve esser minore di quella dell'aria circostante, e delle correnti d'aria riscaldata dal contatto della Terra. L'altezza alla quale sogliono stare le nubi è ordinariamente di 2000 o 3000 metri, quantunque talvolta alcune sieno sì basse da toccare le cime di edifizi anco non molto alti. Più minute osservazioni su questo proposito posson vedersi nell'opera di Saussure, e nella Memoria di Gay-Lussac inserita negli *An. ch.* t. 21.

Della Rugiada

Parlammo già della formazione di questa meteora, quando ne assegnammo la derivazione (n.° 171).

Della Brinata

La spiegazione di questa meteora è la stessa di quella che abbiamo data della formazione del ghiaccio artificiale (n.° 178).

Delle Nebbie

615 *bis.* 1.° Le nebbie in generale sono una conseguenza del raffreddamento notturno dell'atmosfera. Poichè l'aria col suo rapido raffreddamento si trova soprassaturata, una parte del vapore che essa contiene, si precipita e forma una nuvola; ed è questa la formazione delle nebbie ordinarie.

Il calore che nel decorso del giorno cresce per la presenza del Sole sull'orizzonte, fa spesso svanire la nebbia formata nella notte, e riduce l'aria trasparente qual prima. Ciò è chiarissimo, poichè la quantità di vapore che l'aria può contenere diviene più considerevole, a misura che si eleva la temperatura di questo fluido (n.° 118).

2.° Spesso sul far del giorno si veggono nebbie sopra i laghi, sopra i fiumi, ec.; ma, come osservò Davy, non si forma alcuna nebbia sulle acque tranquille e correnti, se non nel caso in cui la temperatura dell'acqua sia più alta di quella della terra circostante. L'aria a contatto con la terra essendo più fredda di quella che è a contatto con l'acqua, deve raffreddar questa se con essa venga a mescolarsi, e in conseguenza precipitare una parte del vapore che contiene. In appoggio di questa sua opinione Davy cita esperienze fatte sul Danubio, sull'Inn, ec. Anco Giorgio Harvey ha studiato la formazione delle nebbie sulle acque, ma le sue osservazioni non sono conformi a quelle di Davy, per quanto egli abbracci l'opinione di questo Chimico. Infatti in molte osservazioni che egli riporta, la temperatura dell'aria sul terreno circostante era più alta di quella dell'aria e dell'acqua sopra la quale si formava la nebbia. Da altre sue osservazioni resulta ancora che l'esser la temperatura dell'aria inferiore a quella dell'acqua, non è sempre causa sufficiente dalla formazione della nebbia, come appunto può darsi questo caso quando piove, senza che si formi sopra l'acqua alcuna nebbia.

In quanto a noi, non ammetteremo in un modo assoluto la spiegazione dell'illustre Fisico inglese. Ecco in qual aspetto ci

si presenta questo fenomeno. L'aria nella notte è più fredda della terra; gli strati d'aria a contatto con l'acqua si riscaldano e si saturano di vapore; e la mescolanza del vapore con questi strati, e l'elevazione di temperatura, li rende specificamente più leggieri. Allora essi si alzano, e incontrando strati d'aria più fredda, si raffreddano, e lasciano precipitare il vapore. La nuvola che resulta da questa precipitazione, non deve apparire che ad una piccola altezza, perchè ben presto la temperatura diventa uniforme. Inoltre in questa spiegazione si vede perchè la pioggia o una grande agitazione dell'aria si oppone alla formazione delle nebbie sopra l'acqua. Presentemente mi occupo nel fare esperienze su questo proposito

3.° Vi sono ancora alcune nebbie più rare, la causa delle quali non ben si conosce. Nel 1783 una nube di questa specie coprì tutta l'Europa per più di due mesi: il 18 d'Agosto 1821, nella contea di Essex in Inghilterra, Forster osservò una nube la quale indeboliva talmente la forza dei raggi del Sole, che poteva guardarsi quell'astro a occhio nudo.

La stessa nube fu osservata ancora nella contea di Sussex da Howard fra le 9 e le 10 della mattina; a Parigi alle 6 della sera; a Viviers nel Delfinato la mattina del 25 da Flaugergues, il quale pure osservò che la nuvola si dissipò il 30 d'Agosto.

Il 21 Maggio 1822 verso le 5 della sera, a Parigi e nelle vicinanze si sparse una nube che tramandava un odore di gas nitroso, e disparve dopo cinque ore e mezzo. La presenza di questa nuvola non alterò punto l'andamento dell'ago della bussola; per la qual cosa sembra che non esista analogia fra le nebbie e l'aurora boreale. Nelle regioni equinoziali spesso queste nebbie durano per una gran parte dell'anno. Ciò appunto osservò Dorta a Baia nel 1785; e a Rio-Ianeiro nel 1786 nel mese d'Aprile si formò una nebbia che sparve soltanto al fine dell'anno. Anco Humboldt riferisce, che Lima è spesso coperta di nebbie per la metà dell'anno, specialmente la sera e la mattina, e che quasi su tutta la costa, le nebbie tengon luogo della pioggia che in quei paesi è molto rara.

Sopra i mari polari, anco nei mesi più caldi, regnano spesso nebbie sì dense, che la vista non si estende che a pochi passi di distanza, come appunto accade sulle coste di Spitzberga e della Groenlandia

Berg, uffiziale russo, parla ancora d'una specie di nebbia che chiama fumo. Questa sembra escire dal mare nei tempi burrascosi, e si eleva fino a cento piedi d'altezza; ma egli stesso ha osservato, che tali nebbie non hanno luogo se non quando la temperatura del mare è a 25° incirca.

Della Neve

616. Quando la temperatura dell'aria abbassandosi è arrivata al grado della congelazione, le gocce d'acqua che resultano dalla condensazione delle vescichette di cui son formate le nubi, si convertono in neve, e nel cadere formano con la loro riunione tante stelle a sei raggi, se la loro cristallizzazione accade in mezzo ad un'aria tranquilla; e se l'aria è agitata, non formano che fiocchi irregolari.

Questa spiegazione della formazione della neve sarà poco diversa nel caso in cui si suppongano le nubi formate di piccoli ghiaccioli (n.° 613).

I naviganti hanno trovato la neve rossa alla baia di Baffin, nell'emisfero boreale, e alla Nuova-Shetland nell'emisfero australe. Il botanico Francesco Bauer, per mezzo del microscopio, ha conosciuto che il colore delle nevi polari dipende dalla presenza d'un piccolissimo fungo del genere *uredo.*

Sul San-Bernardo la neve rossa è permanente, e si vede quasi sempre negli stessi luoghi, e più spesso nei bacini dominati da montagne cariche di neve, secondo le relazioni di Billely Priore di S. Bernardo.

È stato pure riconosciuto che la neve rossa delle Alpi è identica con quella dei poli.

Il Capitano Scoresby ha diligentemente osservato nelle regioni boreali le diverse forme che prende la neve, e ne ha contate fino a 48. La *fig.* 431 ne rappresenta le principali. In generale vi si osserva la tendenza alla forma di sei raggi, già osservata da lungo tempo. Nel Nord cade talvolta la neve in tal quantità, che seppellisce le intere abitazioni.

Della Grandine

617. La grandine che sembra avere una grande analogia con la neve, è diversa da quella, specialmente per l'epoca della sua formazione.

Anticamente si spiegava la grandine, dicendo che le gocce d'acqua piovana si congelavano nelle alte regioni dell'atmosfera; e questi globetti nel cadere incontravano altre gocce liquide, le molecole delle quali, congelate per il contatto di quelle, si disponevano intorno ad esse a strati concentrici, e così ne accrescevano il volume. Ma questa spiegazione diventava difficile a concepirsi, riflettendo che l'intervallo che in generale passa fra la superficie della Terra e le nubi, sembra piccolo perchè i grani della grandine abbian tempo d'acquistare un aumento di peso,

che qualche volta ascende fino a cinquanta grammi e più ancora.

Il Volta rende ragione della formazione delle più considerevoli masse di grandine, ed ecco in qual modo.

Suppone due nubi tempestose soprapposte e in stati contrarii d' elettricismo: queste son situate a tal distanza, che possono esercitare sui grani della grandine, posti nel loro intervallo, un' azione abbastanza potente per produrre il fenomeno. Supponiamo che nella nube superiore, per un raffreddamento prodotto da un' improvvisa evaporazione o da qualunque altra causa, si sieno formati alcuni grani di grandine: questi per il loro peso tenderanno a cadere, e saranno respinti dalla nube dalla quale vengono elettrizzati, e attratti dalla nube inferiore: questa, dopo aver comunicato ad essi il proprio elettricismo, li respingerà a vicenda, e così di seguito. Ora tali grani di grandine, incontrando per via il vapore acquoso contenuto nell' aria, lo condensano, e così posson crescere di volume, finchè l' azione della gravità li precipiti verso la terra (1). Questa spiegazione è confermata anco da un fatto, cioè che prima della caduta della grandine si sente spesso un rumore simile a quello che produrebbero corpi duri agitati con moto rapido, i quali si urtassero fra loro.

La grandine deve avere ancora varii periodi di aumento. Io osservando nel 1827 alcuni grani di grandine ho potuto scorgere, che la maggior parte eran formati di strati concentrici alternativamente opachi e trasparenti, la qual successione distintissima di strati indica evidentemente diverse epoche di formazione. Il primo nocciolo di molti di questi grani era trasparente, lo strato

(1) Il fulmine il quale si sa esser prodotto da un rapido ed abbondante sprigionamento di fluido elettrico, è spesso accompagnato dalla formazione della grandine. Dall' unione di questi due effetti, benchè tanto diversi, in uno stesso punto dell' atmosfera, il Volta credè di poter concludere che essi dipendessero da una doppia azione dello stesso fluido, il quale non facesse che cambiare azione passando dall' uno all' altro. Questa supposizione può ancora realizzarsi secondo le idee ultimamente emesse dal Prof. Arago (*Bibl. Univ.* Marzo 1828). Quando i raggi solari cadono sopra una nube già formata, producono, a spese della superficie superiore di essa, una gran quantità di vapori elastici. Questi vapori saturano primieramente l' aria asciutta che circondava la nube; quindi nel loro moto ascendente incontrano o più presto o più tardi nuovi strati d' aria talmente freddi, da farli ritornare allo stato di vescichette, cioè da trasformarli in una nuova nube simile alla prima, o che da quella differisce soltanto per la natura del suo elettricismo. La più elevata di queste due nubi, formata per via di condensazione, sarà elettrica positivamente; l'altra doveva pure in principio essere positivamente elettrica, ma ha dovuto cambiare stato per affetto dell' evaporazione, poichè i vapori nascenti essendo sempre elettrizzati positivamente, per questa ragione appunto lasceranno negativamente elettrici i corpi a spese dei quali si formano.

contiguo era pur trasparente, e il successivo era opaco e biancastro, simile al ghiaccio che si ottiene dalla congelazione artificiale d' un' acqua gassosa (1).

Tromba

618. La *Tromba* apparisce sul mare e sulla terra; e ora sembra escir dal seno del mare ed elevarsi fino alle nubi, ora scendere dalle nubi fino sulla terra. Questa è una colonna conica d' acqua che gira intorno a se stessa con gran velocità, ed ha qualche volta fin dugento metri di base. È comunissima fra i tropici, e il viaggiatore che costeggia la Ghinea, è raro che non si incontri in questo fenomeno.

Le trombe producono terribili effetti, sradicano alberi, rovesciano case, alzano legni, ec. Un' idea di questo fenomeno può prendersi da quei vortici di polvere che si formano a un tratto in estate sulle vie, e che hanno un moto molto rapido di rotazione intorno a se stessi.

Ecco alcuni fatti recenti. Nel 1822 il 6 Luglio a 1 ora ½, i lavoratori d'un villaggio presso il Passo di Calais dovettero lasciare i loro carri a motivo dell' oscurità e dal timore d'una tempesta. Varie nubi che venivano da diversi punti si riunirono ad un tratto, e ben presto dal seno di questa riunione di nubi si vide scendere un cono rovesciato, formato di vapore azzurrognolo; una parte si staccò, forò il terreno ad una profondità di molti piedi, e si rialzò con un rumore simile allo scoppio d'una bomba: quindi si allontanò rapidissimamente, girando con gran velocità intorno a se stesso, tramandando scintille azzurre, ec.; e

(1) Analizzati alcuni grani di grandine, è stato trovato in essi un nocciolo pietroso cristallino. Sembra che le parti delle quali son formati questi cristalli, sieno solfo e metalli (*Antol.* 1825, Apr. 130).

Non parleremo qui del *Para-grandine*, sul quale argomento hanno studiato Lapostolle primieramente, benchè fondato su falso principio, quindi Tholard che ha cercato d' inspirare in altri quella fiducia in questi apparecchi, della quale egli era persuaso al di là dei limiti d' una probabile teoria; e in seguito altri valenti Fisici, i quali hanno anco talvolta appoggiate sopra alcuni fatti le loro asserzioni. Osserveremo soltanto, che la grandine suol formarsi per lo più nell' Estate, stagione in cui le nubi sono piuttosto alte, attesa l' elasticità dell' aria; quindi sembra difficile che tali conduttori possano da tanta distanza influire sulla tacita dispersione dell' elettricismo; e in tutti i casi, la loro influenza non potrebbe esser maggiore di quella delle alte piante verdi. E se in tal caso questa influenza non può impedire che la grandine si formi nelle regioni atmosferiche, non vi sarebbe un conduttore capace di convertirla in acqua dacchè fosse formata. Il solo *nil tentasse nocebit* può dunque per ora richiamare un pensiero sui paragrandine.

svelse alberi, rovesciò capanne e case, scavò il terreno, ec., e il rumore di questa orribil meteora era simile a quello d'un pesante carro. Si divise poi in più parti, e finalmente si dissipò a 3 ore col tuono, che non aveva mai cessato di farsi sentire su tutti i punti dell'orizzonte.

Nel mese di Marzo dello stesso anno, un navigante, a 4.° di latitudine boreale, vide una tromba avvicinarsi al suo bastimento con un rumore spaventevole: con alcune scariche di schioppo la ruppe in due parti, delle quali l'inferiore andò a riempire la cavità che la tromba aveva aperta nel mare, e l'altra salì verso la nube. A tale effetto prodotto in questa circostanza da alcune scariche di schioppo, non bastano talvolta scariche di cannone.

Nell'Agosto dello stesso anno, dopo una giornata caldissima, comparve una tromba che aveva più di dugento metri di base, e che col vertice toccava le nubi; e l'oragano che la produsse, scagliò grandine della grossezza d'un pugno che ruppe carrozze, distrusse un villaggio, ec.

Una tromba che nel 1823 produsse grandi rovine, assorbì in un momento le acque d'un piccolo fiume. Simili a questi potremmo citare mille altri fatti.

Del resto, siccome l'apparizione della tromba è spesso accompagnata dal tuono, è naturale il supporre che vi abbia parte l'elettricismo; ma non conosciamo finora la teoria di questo fenomeno.

Degli Aloni

619. Gli Aloni sono corone luminose quasi circolari, che appariscono qualche volta intorno al Sole e alla Luna. Ordinariamente non se ne vede che uno, ed ha costantemente un diametro di 45° incirca; e formandosene un secondo, questo ha un diametro doppio. Negli aloni della Luna non è stato mai osservato verun colore; e in quelli del Sole, quando son colorati, il rosso è distintissimo, e occupa la parte interna, e l'indaco l'esterna; e la fascia così colorata fra il rosso e l'indaco è di 1°.

Cartesio supponeva che gli aloni fossero formati di piccole stelle di neve; Huyghens, di piccole sfere; e Mariotte, di piccoli prismi di ghiaccio con un angolo refrangente di 60°. Arago ha trovata conforme alla verità quest'ultima ipotesi. Infatti, paragonando egli nel piano verticale due fasci, uno che partiva dall'interno o dal contorno della corona, l'altro reflesso sopra un piano orizzontale, ha trovato che le porzioni di luce polarizzata contenute in questi due fasci, sono polarizzate in piani perpendicolari l'uno all'altro: da ciò se-

gue, che la porzione di luce polarizzata, trasmessa dall'alone, è polarizzata per refrazione (*Bullet. de la Soc. philom.*, 1825)

Degli Aeroliti

620. Per spiegare questa meteora crediamo a proposito indicare alcnne particolarità sugli aeroliti e sulle masse di ferro isolate.

Quantunque il ferro abbia una grande affinità per l'ossigene, poichè si nnisce ad esso alla temperatura ordinaria, e lo ritiene alle più alte temperature, tuttavia si trova puro in natura, ma però in piccole masse.

La prontezza con la quale vediamo che si ossida il ferro ci dee far credere, che solamente da pochi anni queste masse ferrigne sono esposte all'azione dell'aria. Così i popoli delle contrade ricche di queste materie, le credono cadute dal Cielo. Quest'opinione ci sembra tanto più fondata, quanto che fin dal 1785 è stata frequente la caduta di alcnne pietre; e inoltre è stata ritrovata molta somiglianza fra le pietre cadute da poco tempo, e le masse da lungo tempo conosciute, giacchè tutte son cavernose, e sulla superficie di tutte si osserva una materia vitrea. Chiaramente si comprende e l'ossidazione del metallo e la formazione del vetro, poichè tutti gli aeroliti, nel momento della loro caduta, la quale accade con molta velocità, sono ad una sì alta temperatura, che sembrano luminosi.

Secondo l'analisi di Howard, Klaproth, Vauquelin, Stromeyer e Langier, la composizione chimica degli aeroliti è circa 50 parti di silice; 25 di ferro quasi interamente ossidato; 5,5 di manganese; 4,5 di solfo; 2,5 di nickel metallico; 1,5 di manganese ossidato; 1,5 di cromo; e qualche atomo di cobalto; e la loro gravità specifica è 3,6 incirca. Lo stato delle diverse sostanze che compongono un aerolito debbon dipendere dal volume; e l'ossidazione d'una pietra di piccolo volume deve esser completa, mentre in una pietra d'un peso molto considerevole, si troverà ferro, manganese e anco silicio in stato di purità. Così la massa di ferro di Siberia, conosciuta sotto il nome di ferro di *Pallas*, che è formata di tntte le sostanze che entrano nella composizione degli aeroliti, contiene molto ferro in stato metallico (1).

(1) Quel famoso masso di ferro osservato da *Pallas* è stato riguardato fin ora come unico nella sua specie. Sostanze analoghe a questa, sono state recentemente trovate nell'opposto Emisfero. *Parish*,

La caduta delle pietre dette aeroliti è un fatto incontrastabile; e l'eguaglianza di composizione delle masse di ferro isolate e degli aeroliti indica che quelle e questi hanno un'origine comune. In quanto alla derivazione di questi aeroliti, alcuni hanno creduto che sieno corpi scagliati da vulcani lunari (*a*): altri hanno pensato che provengano da rottami di piccoli pianeti, i quali trovandosi imprigionati nell'atmosfera, e sollecitati da un'immensa velocità, vi si infiammano per effetto dell'attrito contro l'aria (*b*), e cadono per effetto di gravità. Noi tralasciamo una tal questione, nella quale non appartiene a noi il pronunziar giudizio (1).

Il fuoco *Santerno* (2) apparisce sul mare quando accade tem-

Console di S. M. Britannica a Buenos-Ayres, ha mandato a Londra alcuni saggi minerali, e fra questi alcuni pezzi di ferro nativo simili al masso di Siberia, portati a lui da un Indiano che gli aveva trovati in una miniera nella provincia di Atacama nel Perù, il quale dice averli presi da un mucchio valutato pesare tre quintali, che si trova al principio d'una vena di ferro solido, larga tre pollici, situata ai piedi d'una montagna. Ivi all'intorno, alla distanza di tre o quattro leghe, sono sparsi frammenti simili, che nel paese son creduti prodotti da esplosioni della miniera.

Il dott. *Turner* ha esaminato il saggio inviato alla Società Reale da Parish, e ne ha analizzata una porzione. Questo saggio aveva i caratteri esterni del ferro meteorico; il colore del metallo era più biancastro di quello del ferro comune; era coperto in gran parte d'un leggiero strato d'ossido di ferro; gl'interstizii che presentava qua e là contenevano un poco di crisolito; i frammenti puri avevano un peso specifico di 6,687; una porzione battuta e tirata in forma di chiodo aveva quello di 7,488; e dall'analisi è resultato ferro, 93,4, nichel, 6,618, cobalto, 0,535.

Sembra che questi resultamenti non lascino dubbio intorno all'origine di questo minerale. Esso differisce da qualunque altro minerale d'origine terrestre; e riguardato fisicamente e chimicamente, è perfettamente simile ad altre masse di ferro sicuramente meteoriche.

Alcuni anni sono il Prof. Stromeyer scoprì la presenza del cobalto in un saggio di ferro meteorico portato dal Capo di Buona-Speranza, ed annunziò che in tutti i saggi di ferro meteorico che aveva analizzati, aveva sempre trovato non solo nichel, ma ancora cobalto (*Bibl. Un.*, Lul. 1829).

(*a*) È stato calcolato che a ciò bastava una forza quadrupla di quella d'una palla scagliata da 12 libbre di polvere.

(*b*) Queste meteore infiammate sono state chiamate bolidi, e se ne veggon cadere frequentemente.

(1) Un indice storico degli aeroliti si trova nel Giornale di Parigi, T. 87, p. 273. Inoltre nella Gazzetta Universale di Firenze, N. 34. fu parlato d'un aerolito di 1540 piedi di circonferenza, caduto nel 1816 a Watronin in America. Nel mese di Marzo 1824 caddero molti aeroliti in Arenazzo negli stati del Papa: il più grosso pesava 12 libbre, e si conserva nel Museo di Bologna.

(2) Altri dicono *Sant'-Elmo*. Questo è un fuoco volante, che si attacca talvolta alle antenne a agli alberi dei bastimenti. Nel vederlo i

pesta, in forma d'un fuoco di color violetto, mobilissimo, scintillante, e che si dirige verso le punte, ec. La produzione di quelle fiammelle dette *fuochi fatui*, che compariscono sopra i cimiteri e sopra le paludi, è stata attribuita alla reazione delle materie alcaline del terreno, dell'acqua e del fosforo contenuto nella materia cerebrale dell'uomo, in alcune parti dei pesci ec.

Alcuni lampi che si veggono sulla sera, le *stelle cadenti*, ec. si crede che sieno effetti di scariche elettriche prodotte nelle alte regioni dell'atmosfera.

Aurora boreale

621. Quantunque un Trattato elementare non debba essere che la storia dei fatti meglio conosciuti, tuttavia indicheremo alcune particolarità sull'*Aurora boreale*, il qual fenomeno è stato molto rischiarato da recenti osservazioni.

L'Aurora boreale, nel nostro emisfero, apparisce dalla parte di Settentrione, e alquanto verso Ponente. Ordinariamente essa si annunzia con una specie di nebbia, la quale in un tempo tranquillo presenta quasi la forma d'un segmento di circolo, la parte convessa del quale è il punto più alto.

Questo segmento comparisce ben presto circondato d'archi concentrici, separati da strisce oscure. Dalla porzione oscura del segmento partono alcuni getti di luce, i quali si rinnovano talvolta con tanta rapidità, che il segmento sembra essere in moto. In fine il fenomeno comparisce in tutta la sua magnificenza, e allora il segmento ha acquistata la sua massima estensione. Allo zenith apparisce una corona infiammata, che sembra essere il centro verso il quale si dirigono tutti i moti; quindi il fenomeno scema gradatamente; i getti di luce e le vibrazioni son più rare, la luce si riconcentra verso il Settentrione, e finalmente tutto sparisce. Non tutte le aurore boreali presentano queste diverse particolarità, che però sempre accompagnano una grande aurora boreale.

Del resto l'aurora boreale accade nella nostra atmosfera, perchè è trasportata con essa nel moto di rotazione del globo.

Varie spiegazioni sono state date di questo fenomeno. Franklin credeva che l'elettricismo trasportato dalle nubi,

marinari invocano S. Elmo come loro protettore. I Greci e i Latini favoleggiando, credettero che questi fuochi fossero le stelle di Castore e Polluce. Producesi però un tal fenomeno in forza dell'elettricismo, e può esser prodotto dal gas idrogene, che talora si trova abbondantemente raccolto nel seno della terra e nell'atmosfera, nella quale facilmente si eleva per la sua somma leggerezza.

dall'equatore ai poli, scendesse con la neve sul ghiaccio che copre le regioni polari; e che dopo essersi accumulato ai poli, risalisse verso l' atmosfera.

Secondo Mairan, l'aurora boreale è prodotta dalla caduta d'una porzione dell'atmosfera solare, attratta dalla Terra nei momenti della maggior vicinanza. Il fenomeno apparisce verso i poli, perchè le molecole d'aria dell'equatore, avendo una gran velocità, respingono verso queste regioni le molecole dell'atmosfera solare che la terra ha attratte.

L'opinione d'Euler è anch'essa diversa dalle precedenti. Secondo questo celebre geometra, i raggi solari esercitano un impulso sulle particelle dell'atmosfera, le spingono ad una gran distanza, e le rendono luminose reflettendo sulla loro superficie.

Finalmente altri Fisici pensano, chs esista un' interna connessione fra le cause dell'aurora boreale e quelle del magnetismo terrestre. Infatti, oltre la già osservata corrispondenza fra l'apparizione dell'aurora boreale e i moti irregolari dell'ago, e che sono tanto più sensibili quanto l'aurora boreale è più attiva e più estesa, è stato osservato 1.° che gli archi concentrici riposano sopra punti egualmente lontani dal meridiano magnetico; 2.° che il punto più alto di ogni arco si trova nel meridiano; 3.° che il punto in cui si riuniscono i raggi luminosi partiti dall'orizzonte, è precisamente quello verso il quale si dirige un ago calamitato, sospeso per il suo centro di gravità.

Perchè la bussola provi un'agitazione per effetto dell'aurora boreale, non è necessario che questa comparisca nello stesso luogo ove si trova la bussola: infatti Arago a Parigi, Skupffer a Kasan osservarono una simile agitazione il 13 Novembre 1825, senza che apparisse aurora boreale, che alla stessa epoca era pur visibile nel Nord della Scozia. Bisogna dunque convenire, che è difficile non vedere in queste diverse circostanze indizii assoluti di un'occulta connessione fra l' aurora boreale e i fenomeni magnetici.

Biot, nel suo viaggio alle isole Schetland, ha osservato una grande aurora boreale. In questa circostanza non ha scoperta veruna traccia di polarizzazione nella luce che ne emanava; dal che ha concluso che la luce era prodotta nel punto dal quale partivano i getti luminosi. Egli ha proposta una teoria dell'aurora boreale, che i limiti di quest'opera non ci permettono di riportare (1).

(1) L'aurora boreale ha sempre una disposizione e una forma determinata, e nel suo sviluppo segue un andamento invariabile. I getti

Elettricismo atmosferico

622. Vedemmo già come da molti fenomeni resultava sviluppo d'elettricismo; come si determina la presenza dell'elettricismo nell'atmosfera; e come per mezzo di parafulmini si toglie alle nubi il fulmine che esse producono nelle diverse regioni dell'atmosfera medesima. Ora, i Fisici, e specialmente Saussure, hanno riconosciuto che le nubi son sempre più o meno cariche d'elettricismo; che l'elettricismo si trova in maggior abbondanza in un luogo elevato che al livello del mare; che in generale è positivo

o fasci di raggi compariscono prima al Nord; a misura che si inalzano sull'Orizzonte, prendono la forma d'un albero che si estende dall'Est all'Ovest, e che ha la sua cima nel piano del meridiano magnetico, l'arco o la volta essendo perpendicolare a questo piano. Finchè l'arco è vicino all'Orizzonte, la sua larghezza dal Nord al Sud è considerevole, ed i getti dei quali è formata, compariscono quasi ad angoli retti dalla linea generale dell'arco, la loro direzione convergendo verso un punto situato ad alcuni gradi al Sud dello zenith. A misura che l'arco si avanza verso lo zenith, le sue dimensioni laterali scemano, e la direzione dei getti tendendo sempre verso lo stesso punto del Cielo, si avvicina più ad esser parallela a quella dell'arco. Quando esso ha oltrepassato lo zenith, ed è arrivato al punto suddetto, un poco al Sud, l'arco non comparisce più se non come una stretta zona, larga solo tre o quattro gradi. e i di cui orli sono ben terminati. Nel suo progresso ulteriore verso il Sud, si allarga di nuovo, e presenta la successione delle stesse fasi in un ordine inverso.

Da queste osservazioni che *Farguharson*, paroco Scozzese, ha fatte ripetutamente e con la massima accuratezza, egli conclude, che i getti hanno individualmente una situazione quasi verticale, o parallela all'inclinazione magnetica; che essi formano come una frangia sottile, la quale si stende spesso ad una gran distanza dall'Est all'Ovest, perpendicolarmente al meridiano magnetico; e che il moto apparente di questa frangia dal Nord verso il Sud proviene dall'estinzione dei getti situati dal lato del Nord, e dalla formazione di nuovi getti contigui dal lato Sud.

In quanto alle altezze delle aurore boreali, Dalton l'aveva determinata, come assoluta, di 100 miglia, ossia 82700 tese incirca, essendo il miglio inglese poco più di 827 tese. Ora, secondo le esperienze di Davy sembra certo, che la luce non può *nascere nel voto*; e per le osservazioni di Wollaston sembra egualmente certo che l'atmosfera ha veramente un limite, il quale, dedotto dalla refrazione della luce, secondo i calcoli di Biot (*Astron. phys.* Chap. XI, § 269) è di 60000 metri o 30784 tese sopra il livello del mare. Improbabile adunque è l'altezza delle Aurore boreali indicata da Dalton.

L'Osservatore Scozzese crede di poterla determinare a 840 tese incirca, il che sembra poco.

Più giusta ci sembra la determinazione resultata dalle osservazioni di Hood e di Richardson sui monti di Baffin e a Cumberland-House, eseguite contemporaneamente nel 1821 e nel 1822 sopra molte aurore boreali, cioè di 7, o 8 miglia, ossia 6200 tese incirca. (Bullet. *des Sc. phys.* Agosto 18·9).

in tempi sereni, tanto in estate che in inverno; che la forza dell'elettricismo scema verso la metà del giorno; che in tempi agitati e tempestosi, l'elettricismo cambia specie ad ogni momento. Saussure, nel suo *viaggio sulle Alpi*, dice che queste variazioni si succedono talvolta con tanta rapidità, che non v'è tempo di osservarle; e che le nebbie, facendo scendere l'elettricismo dalle alte regioni dell'atmosfera, lo rendono più sensibile presso alla superficie della Terra.

Il Volta e Saussure hanno provato, che nell'evaporazione si produce una quantità notabile d'elettricismo, ma questi due Fisici non sono stati sempre d'accordo relativamente alla specie di questo elettricismo prodotto. Pouillet con accurate esperienze ha veduto, che non si sviluppa elettricismo nella volatilizzazione dell'acqua pura, ma che se ne sviluppa se l'acqua contiene qualche materia acida, salina o alcalina, e che da una dissoluzione di sal marino si sviluppa un vapore carico d'elettricismo positivo; e quindi è chiaro, che la dissoluzione dalla quale emana il vapore, è elettrizzata negativamente. Questa esperienza è molto importante, in quanto che non lascia più veruna incertezza sopra una delle principali sorgenti dell'elettricismo atmosferico (1).

(1) Sui fenomeni meteorologici attribuiti all'elettricismo, sembra al Prof. Matteucci di Bologna (*Influenza dell'elettricità terrestre sui temporali*) che debba influire l'elettricismo che si accumula sulla superficie del suolo. Questo elettricismo in eccesso rientrerebbe nella massa del Globo, appena che si fosse sviluppato, in virtù della conduttricità del terreno; ma ciò non può accadere quando il terreno non è buon condottore, o per la sua propria natura, o per effetto dell'evaporazione che lo dissecca. Quindi è che le nubi tempestose compariscono sui luoghi elevati e isolati piuttosto che nelle pianure, sopra le roccie più che sopra i boschi, in estate piuttosto che in inverno, fra giorno più che nella notte; e quindi queste meteore non possono meglio spiegarsi che per mezzo dell'influenza dall'elettricismo che il terreno conserva.

Per tale accumulazione il lodato Professore dà ancora una soddisfacente spiegazione di quei fenomeni luminosi che appariscono nell'atmosfera nelle sere e nelle notti d'estate, e che volgarmente son detti *lampi di caldo*. Ei gli attribuisce a quell'elettricismo che resta sulla superficie del suolo, il quale comecchè disseccato dal calore, diviene isolatore. Sul tramontar del Sole, e nel decorso della notte, i vapori condensati dal raffreddamento sulla superficie, formano uno strato conduttore, il quale serve a ristabilire a poco a poco l'equilibrio elettrico fra l'atmosfera e la Terra caricata d'elettricismi opposti. Quindi tali fenomeni compariranno più specialmente e di maggior durata nelle pianure, perchè sui luoghi elevati e isolati, l'elettricismo accumulato nel giorno si disperderà più rapidamente, a motivo della loro forma e della loro situazione in mezzo ad un'atmosfera più rara, più fredda, e in conseguenza più carica di vapori.

Finalmente, secondo lo stesso Fisico, queste scariche elettriche fra il suolo e l'atmosfera possono accadere con molta forza, e quindi

Dei Venti

623. La causa principale dei Venti, almeno dei generali, è la disegual distribuzione del calore nell'atmosfera. Le quantità di aria trasportate dalle correnti opposte, sono sensibilmente eguali, poichè l'altezza del barometro è quasi la stessa su tutti i punti del globo.

Si distinguono molte specie di venti. Si chiamano venti *generali* o venti *alisei* quelli che hanno una direzione costante; e questi regnano nei tropici.

I venti *periodici* o *mussoni* spirano in una certa direzione per molti mesi, e son poi seguiti da venti contrarii d'egual durata.

Si chiamano venti irregolari quelli che spirano da diverse parti, senza epoca nè durata fissa, e questi sono i venti più comuni nelle zone temperate. Accade frequentemente che molti di questi venti spirano nel tempo stesso ad altezze diverse. Ciò apparisce evidente sol che si guardino le nubi, giacchè se ne vedono alcune, anco in tempi poco agitati, muoversi per qualunque direzione (1).

produrre effetti violenti, specialmente se il suolo e l'atmosfera son troppo asciutti. Ad una simil causa potrebbero forse in qualche circostanza attribuirsi i tremoti, e particolarmente quelli che accadono dopo lunghe siccità. Questa supposizione renderebbe ragione d'un processo usato fin dalla più remota antichità, e spesso con buon effetto, per preservare dai tremoti i luoghi che vi sono soggetti, e che son quelli particolarmente ove il terreno è di tal natura, che facilmente vi si accumula l'elettricismo, e difficilmente si disperde. Questo processo consiste nell'impiantar nel terreno, fino a molta profondità, lunghe sbarre di ferro, le quali debbono facilitare il ristabilimento dell'equilibrio elettrico, stabilendo una comunicazione metallica fra l'interno del suolo e la sua superficie, la quale, comecchè isolatrice, riteneva l'elettricismo.

Del resto è desiderabile che osservazioni variate ed esatte confermino le ingegnose teorie del Professor Matteucci, e dimostrino con prove dirette l'esistenza di questo elettricismo terrestre, al quale egli attribuisce tanta influenza.

(1) La direzione secondo la quale si effettuano i cambiamenti dei venti è diversa da un Emisfero all'altro; ma in uno stesso Emisfero è costantemente la stessa. Nel nostro, il vento passa dal Nord al Sud per la via dell'Est, e ritorna dal Sud al Nord per la via dell'Ovest; e nell'Australe, passa dal Nord al Sud per via dell'Ovest, e torna dal Sud al Nord per via dell'Est. Che se talvolta nell'uno o nell'altro Emisfero ad un vento di Nord segue subito un vento di Sud, senza che si sia fatto sentire alcun vento intermedio, ciò non deroga punto alla legge generale che si osserva nei cambiamenti ordinarii. Si presentano però, benchè molto raramente, alcuni cambiamenti di venti che sembrano far eccezione alla legge generale: per esempio, si vede qual-

624. Il minimo cambiamento di densità in una parte d'una massa fluida, basta per determinarvi qualche corrente. Per esempio, in una stanza con cammino, l'aria riscaldata dal fuoco, e divenuta quindi più leggiera, esce in parte per il tubo del cammino, e l'altra sale in alto: nel tempo stesso l'aria esterna sottentra all'aria ascendente, e ne resulta una successione non interrotta di due correnti contrarie, una inferiore che si dirige dalla porta verso il cammino, l'altra superiore che si allontana dal cammino stesso. Per provare l'esistenza di queste due correnti, basta portare successivamente un lume in basso e in alto della stanza, e si vedrà la fiamma inclinarsi nelle due direzioni indicate.

Questa esperienza suggerisce naturalmente la spiegazione del vento d'Est. L'aria della zona torrida, riscaldata moltissimo dal Sole, si alza e si spande verso i poli; l'aria fredda dei poli si dirige verso l'equatore, per riempire il voto formato dall'ascensione d'una porzione dell'aria dell'equatore: dunque in ciascun emisfero si formano due correnti, una superiore che va dall'equatore ai poli, l'altra inferiore che va dai poli all'equatore.

Ora le molecole d'aria di ciascuna zona hanno una velocità di rotazione che è tanto minore, quanto la zona è più vicina ai poli; le molecole della corrente inferiore, arrivate all'equatore, hanno dunque una velocità minore di quelle del punto corrispondente sulla superficie della Terra. Un osservatore adunque situato all'equatore, urterà queste molecole con un eccesso di velocità; e riferendo l'eccesso della sua propria velocità in senso opposto, crederà ricevere l'impressione d'un vento diretto dall'Est all'Ovest, poichè la Terra si muove dall'Ovest all'Est. In quanto alla corrente superiore, chiaramente si vede che ciascuna delle sue molecole avendo un moto più veloce di quello dei punti della Terra al di sopra dei quali essa arriva, dee produrre l'effetto di un vento d'Ovest reale, mentre il vento inferiore non è che un'apparenza.

che volta un vento del Nord voltare al Sud per la via dell'Ovest, ed anco ritornare fino all'Est; ma è fatto costante che non si vede mai il vento compiere il giro dell'orizzonte in questa direzione retrograda; e di più il vento che ha retroceduto in tal guisa, conserva sempre, qualunque sia la sua direzione, i caratteri distintivi di quel vento, spirante il quale ha cominciato a retrocedere; sicchè ordinariamente piove col vento di Nord-Est, se la retrogradazione ha avuto luogo dal Sud-Ovest per il Sud-Est; e al contrario il tempo sarà ordinariamente asciutto e sereno col vento di Sud-Ovest, se il vento ha retroceduto dal Nord-Est per il Nord-Ovest. Tutto ciò è stato verificato da Preverand, professore di Fisica a Autun, il quale per più di dieci anni ha continuate le sue osservazioni meteorologiche, percorrendo quasi tutti i mari.

625. Notabilissima è l' influenza dei venti alisei. Questi venti spirano dall' Est all' Ovest a traverso del continente dell'Affrica pieno di deserti, e producono sulla sua costa occidentale un calore più intenso di quello che si prova sulla sua costa orientale; e passano quindi sull'Oceano atlantico, ove vengono notabilmente rinfrescati, attraversano l' America meridionale, ec.

626. Con gli stessi fatti si spiega il periodo de' venti che spirano sulle spiagge del mare. Poichè la temperatura del mare non prova mai variazioni tanto grandi quanto quelle della Terra, ne segue che nella notte il mare deve esser più caldo della Terra: quindi l' aria che è al di sopra del mare, divenuta più leggiera perchè più dilatata, si sparge sul continente con una corrente superiore, e l' aria del continente, con una corrente inferiore si porta sul mare. Nel giorno il mare essendo più freddo, la direzione dalle correnti è inversa. I venti poi contribuiscono a scemare le differenze che resulterebbero dalle temperature dei continenti e dei mari.

627. Nei paesi vicini al mare, l' estate non sono tanto calde nè gl' inverni tanto rigidi quanto in altri paesi situati alla stessa latitudine, ma nell' interno del continente; poichè i venti che regnano sempre sulle rive del mare, rendono i paesi vicini partecipi della media temperatura che regna sulle grandi masse d'acqua. Quindi è che si può coltivare l' olivo sulle coste della Brettagna, mentre è impossibile questa cultura in paesi più meridionali.

628. La velocità del vento è variabilissima. Kraaf a Pietroburgo la trovò un giorno di 109 piedi, e un altro giorno di 129 piedi per minuto secondo; ma però può essere maggiore o minore.

629. I venti servono a rinnovar l' aria nelle grandi città; trasportano le nubi, i semi dell'erbe, ec.: l' impulso del vento dirige le navi; ricevuto obliquamente sulle ale dei mulini, mette in moto queste macchine; ec. Inoltre, da quanto abbiamo detto altrove (n.° 612) si deduce, che i venti debbono molto contribuire alla produzione della pioggia. A Parigi i venti d' Ovest sono i più piovosi, e i venti d' Est i più asciutti.

Temperature dei diversi Climi

630. Prima di parlare delle temperature, daremo in succinto l' idea dei termometri *a minima e a massima* indicazione, e precisamente di quello che è detto termometro di Rutherford. Esso è composto di due termometri orizzontali (*fig.* 432), graduati nel modo ordinario. Il termometro a massima indicazione è a mercurio, e quello a minima è a alcool. Nella figura il primo è in alto: sul mercurio è posto un cilindro di

ferro: ora quando la temperatura cresce, l'indice di ferro è spinto, e quando scema, esso resta fermo.

L'indice del termometro a minima indicazione è un cilindro di smalto, che si muove liberamente senza toccare le pareti del tubo. Se la temperatura si abbassa, il vertice della colonna liquida porta seco l'indice, e quando la temperatura si alza, il liquido passa senza toccarlo. Si avverta, che prima di far l'esperienza con questi strumenti, si tengono in situazione verticale.

611. La *temperatura media* d'un luogo in un giorno, è la media delle temperature corrispondenti a tutti gl'istanti di cui il giorno stesso è composto. Humboldt esaminando attentamente moltissime temperature osservate a Parigi e all'equatore, ha rilevato, che la semisomma delle temperature *massima* e *minima* di ciascun giorno, cioè quella di 2 ore dopo mezzogiorno e quella del levar del Sole, può prendersi per la media sicuramente, dalla quale non differisce che pochissimo; ma questa temperatura media, calcolata in tal modo, si allontana dalla vera tanto più, quanto il luogo è più settentrionale. Così a Pietroburgo la media calcolata con questo metodo sarebbe sotto lo zero, mentre la media vera è 3°,8.

La temperatura massima della Terra è a 2^{ore} per i giorni più lunghi, e a 3^{ore} per i più corti; mentre l'azione instantanea del Sole è massima a mezzo-giorno, e la temperatura minima è nel momento che precede il levar del Sole. Inoltre la temperatura quando il Sole tramonta, è quasi la temperatura media del giorno, almeno fra i paralleli 46mo e 48mo. Finalmente le temperature d'Ottobre e d'Aprile indicano sensibilmente la temperatura dell'anno, come si vede nella Tavola seguente.

Ma questo resultamento dee riguardarsi soltanto come approssimato. Così a Parigi nel 1822 la temperatura dell'Ottobre è stata 1° incirca maggiore della media; e la tavola indica pure un resultamento analogo. Nel mese d'Ottobre la temperatura è sempre maggiore della media dell'anno. Più approssimata si ottiene la media temperatura dell'anno prendendo quella delle 8^{ore} $\frac{1}{2}$ di mattina.

LUOGHI	TEMPERATURA MEDIA		
	dell' Anno	d' Ottobre	d' Aprile
Cairo.	22°,4	22°,4	25°,5
Algeri.	21,0	22,3	17,0
Natchez.	18,9	20,2	19,1
Roma.	15,8	16,7	13,0
Milano.	13,2	14,5	13,1
Cincinnati.	12,0	12,7	13,8
Filadelfia.	11,9	12,2	12,0
Nuova Yorck.	12,1	12,5	9,5
Pechin.	12,6	13,0	13,9
Buda.	10,6	11,3	9,5
Londra.	11,0	11,3	9,9
Parigi.	10,6	10,7	9,0
Ginevra.	9,6	9,6	7,6
Dublino.	9,2	9,3	7,4
Edimburgo.	8,8	9,0	8,3
Gottinga.	8,3	8,4	6,9
Franecker.	11,3	2,7	10,0
Copenaghen.	7,6	9,3	5,0
Stockolm.	5,7	5,8	3,6
Cristiania.	5,9	4,0	5,9
Upsal.	5,4	6,3	4,3
Quebecca.	5,5	6,0	4,2
Pietroburgo.	3,8	3,9	2,8
Albo.	5,2	5,0	4,9
Drontheim.	4,4	4,0	1,3
Ulèo.	0,6	3,3	1,2
Umèo.	0,7	3,2	1,1
Capo-Nord.	0,0	0,0	— 1,0
Enontekies.	— 2,8	— 2,5	— 3,0
Nain.	— 3,1	+ 0,6	— 2,5
Firenze.	12,13	+ 12,89	+ 11,06

Le temperature medie degli anni presentano una differenza molto minore di quella che la testimonianza dei sensi e dei varii prodotti della agricoltura ci farebbe supporre; e le massime differenze arrivano appena a due o tre gradi.

Le differenze fra le medie del Gennaio, giungono fino a 7°; e per il mese d'Agosto esse non arrivano che raramente a 4.°

Delle linee isoterme (a)

632. Per segnare le linee isoterme, si cercano i punti del globo, le temperature medie dei quali si avvicinano più a 0°, 5°, 10°, 15°; e a prima vista si conosce se le linee passano al sud o al nord d'uno o d'un altro luogo. Per conoscere la distanza precisa in latitudine si ricorre ai soliti metodi d'interpolazione, formando tavole sul modello della seguente.

A 1.° di variazione nella temperatura media, nelle diverse zone, corrispondono i seguenti cambiamenti di latitudine:

	Nel nuovo continente per le longitudini fra 70° e 80° ovest	Nell'antico continente per le longitudini fra 2° e 17° est
fra 30° e 40° latit. nord	1°24′	2°30′
40° 50	1 6	1 24
50 60	1 18	1 48

La *figura* 433 che rappresenta le linee isoterme, indica quanto queste linee son lungi dal parallelismo, e che i loro vertici convessi, in Europa son quasi sempre situati sullo stesso meridiano.

Nella Zona torrida sotto il parallelo di 30°, le linee isoterme divengono a poco a poco parallele fra loro e all'equatore terrestre.

633. Già da più d'un secolo è stato osservato, che avanzandosi di 70° in longitudine all'Est o all'Ovest dal meridiano di Parigi, il clima è più freddo; ma a questa osservazione bisogna aggiungere, che le differenze fra le temperature dei luoghi situati sotto gli stessi paralleli, non sono eguali in tutte le latitudini.

Latitudine	Temperatura media all'Ov. dell' antico continente	Temperatura media all'Est del nuovo continente	Differenze
30°	21°,4	19°,4	2°,0
40	17,3	12, 5	4, 8
50	10,5	3 ,3	7, 2
60	4,0	— 4 ,6	9, 4

(a) Humboldt, *Soc. d'Arc.*

Nei due Mondi, la zona nella quale il decrescimento della temperatura media è più rapido, è compresa fra i paralleli di 40° e 45°: dal qual fatto Humboldt in una sua Memoria inserita negli atti della società d'Arcueil, t. 3, p. 462, deduce importanti conseguenze relativamente all'industria dei popoli che abitano fra questi paralleli.

634. Dalla osservazione delle temperature medie si rileva, che un'egual quantità di calore annuo, può essere in diversi luoghi disegualmente repartita fra le diverse stagioni. La tavola seguente mostra quanto gl'inverni e le estate differiscano fra loro su tutte le linee isoterme, dal 28mo al 30mo grado di latitudine settentrionale, fino ai paralleli di 55° e 60°. Si osserverà che nelle due fasce dell'antico e del nuovo Mondo, che formano due sistemi di climi diversi, il calore annuo si divide fra l'inverno e l'estate in modo, che sulla linea isoterma di 0°, la differenza di 26° fra le due stagioni è quasi doppia di 13°,5 che si osserva sulla linea isoterma di 20°.

	FASCIA CISATLANTICA (Long. 5° Oc., e 15° Or.)			FASCIA TRANSATLANTICA (Long. 60° Oc., e 74° Or.)		
	TEMPERATURA media		Differenza	TEMPERATURA media		Differenza
Lin. isoter. di	Dell'Inverno	Dell'Estate		Dell'Inverno	Dell'Estate	
20°	15°	27°	12°	12°	27°	15°
15	7	25	18	4	26	22
10	2	20	18	— 1	22	23
5	— 4	16	20	— 10	19	29
0	— 10	12	22	— 17	13	30

Per le temperature medie del mese più caldo e del più freddo, le differenze sarebbero nel medesimo senso, ma anco più considerevoli.

Tavola delle massime temperature osservate a Parigi e in altri luoghi del Globo

Parigi	Massimo freddo	Parigi	Massimo caldo
1665	5 Feb. . — 21°,2	1706	8 Agosto. . 35°,3
1709	13 Gen. . — 23 ,1	1793	8 Luglio. . . 38 ,4
1776	29 Gen. . — 19 ,1	1800	18 Agosto. . 35, 5
1783	30 Dec. . — 19 ,1	1808	15 Luglio. . . 36, 2
1795	25 Gen. . — 23 ,5		
1820	11 Gen. . — 14 ,3		
1823	14 Gen. . — 14 ,6		

La media di Parigi è 11°,2 incirca (1).

Queste osservazioni sono state fatte con termometri situati a settentrione, all' ombra, e per quanto è possibile difesi dal reverbero del Sole. Strumenti coperti di nerofumo ed esposti all' azione diretta del Sole avrebbero indicato 8° o 10° di più. Ma non è questo il massimo grado di temperatura dei corpi sulla superficie della Terra, poichè la sabbia e la terra vegetabile possono indicare fino 65 o 70 gradi.

636 *Resultamenti osservati dal capitano Parry nel* 1819

	massima	minima	media
In mezzo allo stretto di Davis e della baia di Baffin Luglio.	7°,7	— 3°,3	+ 0°,9
Isola Melville alla lat. N.° 74° $\frac{3}{4}$ e long. Ov. 113°.			
Decembre.	— 14 ,4	— 42 ,8	— 29 ,9
Febbraio.	— 27 ,2	— 45 ,6	— 35 ,6
Agosto.	+ 17 ,2	— 5 ,5	+ 5 ,8

La media temperatura di quest' Isola è — 18°,5, il che equivale quasi al più alto grado di freddo del nostro clima: quindi il mercurio vi gela naturalmente all' aria libera per cinque mesi dell' anno (2).

(1) In Firenze dal 1821 fino all' Ottobre del 1829, la *massima* temperatura è stata 29°, il 22 di Luglio 1827; e la *minima* è stata di — 4°,2 il 20 Gennaio dello stesso anno.

(2) Kupffer ha fatte alcune osservazioni, ed altre ne ha raccolte,

Temperature dei due Emisferi

637. L'emisfero boreale, a eguaglianza di latitudine, ha sicuramente una temperatura media più alta di quella dell'emisfero australe. Le distanze dal Sole alla Terra, nei solstizii del Cancro e del Capricorno sono nel rapporto di 30 a 29. Il solstizio del Cancro corrisponde all'estate dell'emisfero boreale, e all'inverno dell'australe; ed è l'opposto per il solstizio del Capricorno. L'effetto di questa differenza nelle distanze dal Sole alla Terra, è dunque di render l'estate meno calda e l'inverno meno freddo nell'emisfero boreale che nell'australe; e poichè il calore dell'estate è maggiore di quello dell'inverno, l'emisfero boreale dovrebbe esser più freddo dell'australe. Ma siccome in fatto accade l'opposto, così bisogna cercarne un'altra causa. Ora, la durata delle stagioni non è la medesima nei due emisferi; l'estate boreale è maggiore otto giorni dell'estate australe, e l'inverno boreale è otto giorni più corto dell'australe; dunque nell'emisfero boreale è cresciuto il caldo dell'estate, e scemato il freddo dell'inverno. A questa circostanza, che tende ad accrescere la temperatura dell'emisfero boreale, bisogna ancora aggiungere, che nell'emisfero australe i mari sono estesissimi, e l'evaporazione continua dell'acqua contribuisce al raffreddamento dell'aria. E dall'altra parte è un fatto, che le temperature son più alte in generale nell'emisfero boreale, e che si trovano ghiacci nell'emisfero australe a latitudini minori di quelle alle quali si trovano nell'emisfero boreale.

relativamente alla temperatura media della superficie del Globo, intendendo per *superficie* una profondità di circa 25 metri. Quindi ha potuto formare una tavola di linee che ha chiamate *isogeoterme*, le quali non coincidono con le *isoterme* di Humboldt, ed hanno comune con quelle soltanto la proprietà di non esser parallele all'equatore. Egli crede che per determinare questa temperatura, si debba prender quella delle sorgenti che più abbondantemente e più prontamente zampillano, la quale non è soggetta a sensibili alterazioni per parte della temperatura dell'aria. Avverte ancora, che si debbon preferire quelle delle pianure, che più sicuramente indicano la temperatura del suolo, ad esclusione di quelle delle località montuose, come pure di quelle che provengono da acque stagnanti. In generale dalla sua tavola fin qui resulta, che sotto uno stesso parallelo, la temperatura del suolo varia secondo i meridiani. Questa cognizione potrà utilmente applicarsi alla geografia botanica e al magnetismo terrestre (*Bibl. Univ.*, Ottobre 1829).

Temperature del Globo a diverse profondità

638. Solamente per mezzo dell' analisi si potrebbe sciogliere la questione compostissima delle temperature terrestri. Ecco in qual aspetto considera questo argomento Fourier, il quale in una Memoria inserita negli *An. ch* t. 14. tratta la questione delle temperature terrestri in tutta la sua estensione.

,, Il calore che si distribuisce nell' interno della terra è soggetto a tre moti distinti:

1.° I raggi del Sole penetrano nel Globo, e producono variazioni diurne ed annue nelle temperature; i quali cambiamenti periodici cessano d' esser sensibili a qualche distanza dalla superficie. Ad una certa profondità, e fino alle maggiori distanze accessibili, la temperatura dipendente dalla sola influenza del Sole è divenuta fissa. Questa quantità immensa di calore solare che determina le variazioni periodiche, oscilla nell' inviluppo esterno della Terra; e per una parte dell' anno si abbassa sotto la superficie, e nella stagione opposta risale, e il calore si dissipa nello spazio.

2.° La temperatura dei luoghi profondi, costante per un dato luogo, è variabile per i punti situati in modo diverso, relativamente all' equatore, sicchè il calore solare penetra prima nelle zone equinoziali, e si dissipa a traverso delle regioni polari.

3.° Non basta considerare il calore esterno, ma bisogna ancora far attenzione al moto del calore proprio del Globo. Se la temperatura dei luoghi profondi, come sembra resultare dalle esperienze, diviene sensibilmente maggiore in proporzione della loro lontananza dalla superficie, è impossibile attribuire un tal aumento al calore del Sole, ma ciò dee dipendere interamente da un calore primitivo proprio della Terra fin dalla sua origine, e che col volger de' secoli scema e si dissipa sulla superficie di essa ,,.

Quest' ipotesi d' un calore interno e centrale è stata riprodotta in tutti i tempi, perchè si presenta allo spirito come causa naturale di molti grandi fenomeni.

Dalle osservazioni di Gensanne nelle miniere di Giro-Magny nelle vicinanze di Befort, di Daubuisson nelle miniere di Friberga, di Humboldt in queste medesime ed in altre d'America, ec. ec., resulta che questo aumento di temperatura è di un grado incirca per ogni 30 o 40 metri (*a*).

(*a*) Per quanto non possa mettersi in dubbio questo aumento di temperatura, tuttavia la Scienza non ha fin qui dati assai preciai. Per esempio, Maux indica un grado d' aumento per 28 metri di profondità; Lettry, lo stesso aumento per 23 metri; e in fine Decise, un grado parimente per 15 metri. Cordier ha redatta su questo argomento

Questo aumento non sarà sempre lo stesso, anzi scema progressivamente; ma dovranno passar molti secoli prima che sia ridotto alla metà (*b*).

Molti Fisici presentavano alcune obiezioni alle precedenti esperienze, e attribuivano l'elevazione di temperatura alla presenza degli operai, dei lumi, ec. Ma Arago per togliere ogni difficoltà, osservò l'acqua d'un pozzo artesiano (1), e la trovò ad una temperatura superiore alla media della superficie. Bergère, uffiziale del genio, invitato da Arago stesso, ha fatte analoghe osservazioni, ed ha trovate le stesse conseguenze, e così rimangon distrutte le indicate obiezioni.

La temperatura dei luoghi profondi 40 o 50 metri, è costante per un luogo dato (*c*), ma non è la stessa nei diversi climi,

una memoria, che merita d'esser consultata, la quale contiene molte nuove osservazioni ed una discussione sulle antiche; e conclude che il valore dell'aumento delle temperature in proporzione della profondità, non è lo stesso in tutti i punti del medesimo paese, e che la variazione non è in rapporto con la latitudine. Riproduce inoltre l'ipotesi d'un fuoco centrale, e pensa che la maggior parte del Globo sia in stato di liquefazione (*Mem. du Museum* an. 1827).

(*b*) Laplace ha trovato col calcolo, che la durata del giorno non è scemata di $\frac{1}{30}$. dalle osservazioni astronomiche d'Ipparco fin qui, cioè per un intervallo di circa duemila anni; il che prova, che in tutto questo tempo le dimensioni della Terra non son cambiate, e che la sua temperatura non è variata in un modo sensibile (*An. ch.* t. 14, p. 410): lo stesso può dirsi del raffreddamento della Terra.

(1) *Pozzi artesiani*, o *Fontane artesiane* si sogliono chiamare quelle sorgenti d'acqua, che artificialmente sono state scavate, per quanto pare, nell'*Artois*. Noi Italiani dovremmo chiamarli pozzi modenesi, giacchè nella Città e nelle vicinanze di Modena pare che si conoscessero e si praticassero molto prima che nell'Artois, cioè fin dai tempi del celebre Cassini sotto Luigi XIV. Questi pozzi si scavano per mezzo di un trapano particolare, col quale si può sfondare il terreno a qualunque profondità. Incontrandosi circostanze opportune, avviene che nel momento in cui si finisce di traforare l'ultimo strato di terra adiacente all'acqua sotterranea, questa si introduce impetuosamente nel foro del trapano ed ascende in alto. In questa operazione si procura d'insinuare fino nel fondo del foro fatto un tubo o condotto, per cui passa la sola acqua della sorgente profonda, senza confondersi con le superiori, che potrebbero essere o meno pure o anco minerali, e quindi non opportune per gli usi ordinarii della vita.

Tale è l'idea dello strumento, che per i progressi delle scienze meccaniche è stato imaginato, per eseguire questa utilissima operazione, e del quale si servono comunemente in Francia, in Inghilterra e altrove. Noi la prendiamo da quella che il nostro Sovrano, ha fatto espressamente costruire alla R. Villa del Poggio a Caiano.

(*c*) Le variazioni massime di temperatura dei sotterranei dell'Osservatorio di Parigi, a 86 piedi di profondità, nel 1824 non oltrepassarono $\frac{3}{100}$ di grado.

e in generale scema in proporzione dell' avvicinamento ai poli.

Gli strati del Globo, ad una certa profondità, conservano una temperatura che non varia sensibilmente da un anno all' altro, e che presso a poco è la temperatura media della superficie; ma quando la profondità è alquanto considerevole, la temperatura si alza: così la temperatura media di Parigi è minore di 11°,7 che è la temperatura dei sotterranei dell' Osservatorio.

E non dee prendersi neppure la temperatura delle sorgenti per la temperatura media dell' anno, perchè queste sorgenti possono essere alimentate da piogge, da nevi fuse, ec. (*d*).

Freddi dei luoghi elevati

639. A misura che ci inalziamo nelle regioni dell' atmosfera, troviamo scemata la temperatura dell' aria: e Humboldt in America, e Saussure e Ramond nelle Alpi trovarono che un'altezza di 190 metri corrisponde a un grado d' abbassamento.

Questa diminuzione di temperatura dipende da molte cause. L' aria, riscaldata sulla superficie della Terra, si alza, si dilata, e si raffredda, appunto perchè cresce la sua capacità, e anco per il raggiamento che più libero accade a traverso degli strati d'aria più rara. La rarefazione ha una gran parte nei fenomeni; e se l'aria conservasse lo stesso volume sotto tutte le pressioni, il freddo delle montagne sarebbe molto minore.

(*d*) Così la sorgente di Chandes-Aignes ha nna temperatnra di 80°,25; e Darcet ha trorato di 4°,5 la temperatura della sorgente della Dogna, e di 2°,9 la temperatura di quella della Dora. J. Davy ha trovate a 41°,5 molte sorgenti dell' isola di Ceylan. Nelle Cordegliere le sorgenti d' Onoto sono a 44°.5; quelle di Mariara, a 64°, secondo le osservazioni fatte nel 1822 da Boussingault e da Mariano di Rivero; ma quest' ultima alla stessa epoca, cioè nel Febbraio del medesimo anno, fu trovata da Humboldt di 59°,2.

Nell' Islanda oltre a molte sorgenti notabili, se ne trova una singolarissima, dalla quale l' acqua esce bollente, e tiene in dissoluzione una gran quantità di silice.

Dell' alta temperatura delle acque solfuree può esser causa la scomposizione dei solfuri, ec. In quanto alle acque limpide, prive di solfo, di ferro, ec., ne è stata cercata la causa nell' alta temperatura dell' interno del Globo; e della bassa temperatura delle acque a 1, 2, o 3 gradi, è stata attribuita la causa alla fusione delle nevi.

Temperature a diverse altezze (*a*)

Altezza	Zona equatoriale da 0 a 10° lat. bor. e austr.	Zona temperata da 45° a 47° latit.
0 metri	27°,5	12°,0
974	21, 8	5, 0
1949	18, 4	— 0, 2
2923	14. 3	— 4, 8
3900	7, 0	»
4872	1, 5	«

Nevi perpetue

640. Fra i fenomeni relativi alla distribuzione del calore sul Globo, pochi son quelli che sieno tanto dipendenti dalla località, quanto il fenomeno delle nevi perpetue.

La curva delle nevi perpetue non è una fascia isoterma, e non indica nè il termine di congelazione, come è stato ammesso per molto tempo, nè uno strato d'aria d'egual temperatura media. Questa temperatura media dell'aria sul Cimborazo è + 1°,5; sul San Gottardo, — 3°,7; nella zona glaciale, — 6°. Il limite delle nevi corrisponde meno alle linee isoterme del piano, che alle inflessioni delle linee *isotere*, cioè linee di estate eguali (*b*). Esso dipende dalla divisione del calore annuo fra le diverse stagioni, dalla lunghezza e dalla temperatura più o meno alta delle estate, ossia dal numero dei mesi in cui la temperatura è maggiore di 4 o 5 gradi.

Il limite delle nevi perpetue è molto più basso sul pendio meridionale dell'Imalaia, che sul pendio settentrionale; il che dipende dal vivo calore dell'estate dell'Asia, o dal raggiamento d'un'immensa pianura alla quale sono addossate queste montagne.

Nell'Asia il calore delle estate aumenta l'elevazione dello strato di nevi perpetue fino nella catena del Caucaso.

Il limite inferiore delle nevi, cioè la curva che passa per la

(*a*) V. negli *An. ch.* t. 14, p. 5 la Mem. di Humboldt, che ha dedotte queste temperature da un gran numero d'osservazioni.

(*b*) Le linee isotere si allontanano dai paralleli geografici più delle linee isoterme. Per esempio, la temperatura dell'estate a Mosca è quasi la stessa che quella dell'estate all'imboccatura della Loira, quantunque questi due paesi differiscano fra loro di 11° in latitudine.

maggior altezza alla quale le nevi si conservino per il corso d'un anno, arriva in diverse stagioni e in ciascuna zona al massimo grado d'elevazione. La quantità di questa variazione è l'oscillazione annua del limite inferiore delle nevi. Sotto l'equatore l'oscillazione di questo limite non si estende a più di 30 metri. All'estremità boreale della zona torrida, sotto il 19mo grado di latitudine, arriva fino a 750 metri. Questo fenomeno dell'oscillazione annua delle nevi è tanto meno regolare, in un luogo, quanto questo è più lontano dall'equatore.

Tavola del limite delle nevi

Latitudine		Temperatura media a questa altezza	Altezza	
	0	+ 1°,5	4791^m	Humboldt
	20°		4580	Humboldt
Caucaso	42° a 43°		3216	Engelhart e Parrot
Pirenei	42° ½ a 43°	— 3°,5	2729	Ramond
Alpi	45° ½ a 46° ½	— 4°,0	2550	Saussure
			1670	Walhemberg
Lapponia	62°		1750	De-Buch
	65°	— 6°,0	950	De-Buch

Quanto abbiamo detto sulle nevi perpetue è dedotto dalla Memoria di Humboldt citata di sopra.

Temperatura dei Mari

641. Il mare occupa due terzi in circa della superficie della Terra. Dai calcoli approssimati resulta, che nell'emisfero settentrionale, la porzione continentale del Globo sta alla porzione coperta dai mari, nel rapporto di 419 : 1000; e nell'emisfero meridionale, nel rapporto di 129 : 1000. Quasi tutta questa estensione di acqua è riunita in una sola massa che si chiama Oceano, del quale la maggior porzione è nell'emisfero meridionale.

L'acqua così sparsa sulla superficie della Terra serve a rendere più uniforme la distribuzione del calore. Nell'Oceano e nei laghi, le molecole più dense si dirigono continuamente

verso le regioni inferiori; e i moti del calore dipendenti da questa causa, sono, in virtù della facoltà conduttrice, molto più rapidi di quelli che si eseguiscono nelle masse solide.

Una porzione del calore solare che arriva sulla superficie dell'acqua, penetra nel suo interno, e ivi si cambia in calore latente.

642. Dalle osservazioni di Humboldt resulta, che nell'Oceano atlantico, come pure nel grande Oceano, le acque non variano neppure un grado di temperatura sopra un'estensione di molte migliaia di leghe quadrate, ad una distanza però molto considerevole dalle rive.

Se il moto delle acque non modificasse la temperatura dell'Oceano, l'aumento di calore sotto la zona torrida sarebbe enorme, perchè la superficie dell'acqua reflette tanto meno abbondantemente i raggi del calore, quanto la loro direzione è più prossima ad essere perpendicolare alla sua superficie.

Sotto i diversi meridiani posti fra l'equatore e il 27mo grado di latitudine settentrionale, la temperatura è sensibilmente costante: varia però nelle alte latitudini, ove la fusione dei ghiacci polari, le correnti prodotte da questa fusione, e l'obliquità dei raggi solari scemano la temperatura dell'Oceano.

La temperatura massima dei mari equinoziali, secondo le osservazioni di molti viaggiatori, è circa 29 gradi.

Così la trovarono

Churucca, nel 1788, nell'Oceano atlantico... 28°,7
Humboldt, nel 1802, nel grande Oceano.... 29, 3
Perrins, nel 1804, nell'Oceano atlantico..... 28, 2
Rodman...... ivi......................... 28, 8
Quevedo..... ivi......................... 28, 6

Da queste osservazioni Humboldt aveva concluso, che in nessun luogo del Mondo la temperatura dell'Oceano non è maggiore di 30°, la qual conseguenza è stata poi confermata da tutte le posteriori osservazioni.

La temperatura dei mari scema dall'equatore ai poli. Verso il 50mo grado di latitudine, l'acqua gela presso le rive dei mari; verso il 60mo i mari interni si coprono di ghiaccio su tutta la loro estensione; verso il 70mo i ghiaccioli galleggianti divengono frequentissimi anco sull'Oceano; e finalmente verso gli 80° si trovano ghiacci fissi. Tutto questo per altro s'intende dipendentemente dall'influenza delle stagioni, dalla forza e direzione dei venti, ec. (*a*).

(*a*) Nel tomo 5 degli *An. ch. et phys.* p. 59, si possono riscontrare alcuni particolari dettagli sui ghiacci polari, esposti dal Capi-

643. Operazione molto delicata è la determinazione della temperatura del mare. Peron chiudeva un termometro in un inviluppo formato con diverse sostanze poco conduttrici del calore, e terminato con una gran massa di piombo. A noi sembra che un termometro chiuso abbia qualche inconveniente, e che sia necessario far uso d'un termometro aperto, simile a quello che abbiam proposto per la compressione dei liquidi (*fig.* 434). Per una tal determinazione il Capitano Sabiue si è servito d'un termometro a *minima* indicazione.

La *figura* 435 rappresenta uno strumento di questo genere, proposto da Gay-Lussac. Esso è composto d'un globo pieno d'acqua, che termina con un collo d'apertura strettissima, il quale è sigillato in un tubo pieno di mercurio. Se l'acqua si contrae per abbassamento di temperatura, il mercurio caderà, e penetrerà nel globo in tanto maggior quantità, quanto maggiore sarà stato l'abbassamento della temperatura di essa. Se si faccia di forma curva l'estremità superiore del collo del globo, non vi sarà dubbio che il mercurio cada nell'acqua senza che questa si contragga, purchè non venga agitato l'apparecchio. Operando a molta profondità, sarebbe anco utile il conoscere il volume dell'acqua, per sottrarre l'effetto dipendente dalla compressione di essa.

644. La temperatura dei mari scema in proporzione della profondità dell'acqua, e questo scemamento è anco più rapido che nell'aria. Anzi Peron credette di poter concludere, che il fondo dei mari deve esser gelato; ma assolutamente erronea è una tale opinione, perchè il ghiaccio più leggiero dell'acqua salirebbe alla superficie.

L'acqua più fredda essendo più pesa, almeno fino a $+4°$, cade e raffredda gli strati inferiori; ed è questa la causa principale dell'abbassamento di temperatura.

Nelle grandi masse d'acqua alimentate dalla fusione delle nevi, la temperatura del fondo deve essere a $+4°$ incirca, poichè è questa la sua massima densità. Infatti Saussure, esaminando le temperature delle parti inferiori di molti laghi della Svizzera, le trovò di 4°,2 e di 6°,9.

Si comprende parimente perchè la temperatura del fondo dei mari delle regioni polari, coperte d'enormi ghiacci, è di $+4°$ incirca; e tale ancora, secondo le osservazioni di Ellis e Forster, è la temperatura del fondo dell'Oceano nelle regioni

tano Scoresby. Ivi si vede, che nello stretto di Davis si trovano alcune montagne di ghiaccio che si alzano come torri fuori dell'acqua a più di 100 piedi d'altezza, e pianure di ghiaccio estesissime; e molte volte queste montagne e queste pianure urtandosi fra loro si spolverizzano scambievolmente, producendo un rumore spaventevole.

temperate. Dal qual ultimo fatto Humboldt ha conclusa l'esistenza d'una *corrente sotto-marina*, diretta dal polo all'equatore.

È stato provato ancora, che l'acqua sopra un banco è più fredda che in alto mare, e che la differenza è tanto maggiore, quanto il banco è meno schiacciato nella parte superiore alla superficie del mare, come osservarono Francklin, Williams e J. Davy. Questa circostanza merita tutta l'attenzione del Nautico, perchè per essa egli può essere avvertito dell'esistenza d'un banco di sabbia, ec. La spiegazione più soddisfacente di questo fatto è quella data da Humboldt, il quale attribuisce il freddo del fondo alla mescolanza delle acque fredde inferiori e superiori.

Sembra ormai stabilito, che sotto l'equatore la temperatura del mare è superiore a quella dell'aria; e il contrario accade sotto alte latitudini.

645. Ad un'altra variazione, secondo le osservazioni di J. Davy, è soggetta la temperatura della superficie dell'Oceano, cioè ad una variazione diurna; ed è massima verso tre ore dopo mezzo-giorno, e minima al levare del Sole.

Sulla temperatura media del Polo Nord

646. Non esistono osservazioni dirette, adattate a far conoscere la temperatura del polo, poichè i naviganti non si sono inoltrati che fino all'82mo grado di latitudine; tuttavia si può, almeno per approssimazione, trovarne con molta probabilità la temperatura media.

Supponiamo che il nuovo Mondo si prolunghi fino al Polo nord, o per via continua, o per mezzo d'un arcipelago formato d'isole vicinissime fra loro: in tal caso bisognerà far uso della tavola seguente, che presenta i resultamenti d'esperienze sul meridiano d'America.

	Latitudine	Temperat. med.
Cumberland-Housse.	54°	— 0°,5 centig.
Nain.	57 $\frac{1}{7}$	— 3,0
Fort-Entreprise.	64 $\frac{1}{2}$	— 9,2
Winter-Island.	66 $\frac{1}{3}$	— 12,5
Ingloolik-Island.	69 $\frac{1}{2}$	— 13,9
Melville-Island.	75	— 18,5

Ammettendo che la legge di questi numeri, la quale è assai regolare, prosegua dal 75mo al 90mo grado, se ne deduce —32° per la temperatura media del polo.

Se al contrario l'Oceano si prolunghi fino al Polo, bisognerà ricorrere ad altri elementi.

	Latitudine	Temperat. med.
Edimburgo.	55°,57	+ 8°,4
Cristiania.	59 ,55	+ 4 ,9
Eyafiord in Islanda.	66 ,5	+ 0, 6
In mare sotto il meridiano di Londra.	76 ,45	— 7 ,5
Ivi.	78	— 8 ,3

dal che si deduce — 18°, temperatura del polo.

La media — 25° fra queste due, può considerarsi come prossima alla vera (*Arago*, Annuaire 1825).

SORGENTI DEL CALORE

Nella seconda parte dell'Opera (n.° 57) abbiam fatto un ristretto dei fatti principali che compongono la storia del calore. Per compire tutto ciò che si riferisce a questa parte importante della Fisica, restano da conoscersi le diverse sorgenti di calore.

Raggi Solari

648. Il Sole è la principal sorgente di calore. Esso empie del suo calore benefico tutto l'Universo; i raggi calorifici che ne emanano, attraversano tutti gli spazii, e vanno a riscaldare tutti i corpi contenuti nell'immensità.

Una parte qualunque del Globo è ad una temperatura tanto più alta, quanto più adattata a ricevere il calore solare è la situazione in cui si trova: quindi un luogo è tanto più riscaldato, quanto è più vicino all'equatore.

La temperatura del Globo si abbassa,[1] appena che il Sole, per una circostanza qualunque, cessa d'agire direttamente sopra esso. Questo abbassamento che è di qualche grado in pochi giorni, sarebbe molto più considerevole, se l'atmosfera e le nubi non trattenessero e non rispingessero il calore emesso dalla Terra, e se la Luna e gli altri corpi del sistema planetario, non facessero in parte le veci del raggiar del Sole; ma non ostanti tutte queste cause compensatrici, è certo che la Terra diverrebbe ben presto una massa solida, se fosse privata totalmente del calore del Sole.

649. L'effetto calorifico prodotto dai raggi solari può venire accresciuto, solchè s'indebolisca la perdita prodotta dal raggiamento dei corpi riscaldati. Ecco l'apparecchio adoprato da Saussure.

Questo apparecchio consiste in una cassa di legno, coperta con una o più lastre di vetro trasparentissimo, poste a qualche distanza una dall'altra. L'interno della cassa è coperto di nerofumo: l'aria riscaldata è contenuta da tutte le parti, tanto nell'interno della cassa, quanto in ciascun intervallo compreso fra le due lastre; e alcuni termometri posti nella cassa e negl'intervalli, indicano il grado di calore acquistato da ognuna di queste capacità. Tale apparecchio è stato esposto al Sole verso l'ora di mezzo-giorno; il termometro posto in fondo alla cassa è salito fino a 140°, e gli altri hanno acquistata una temperatura tanto minore, quanto erano più lontani dal fondo.

La teoria di questo apparecchio è semplicissima. Da una

parte il calore acquistato si riconcentra, perchè non è immediadiatamente dissipato dal rinnovamento dell'aria; dall'altra parte il calore emanato dal Sole passa facilmente a traverso del vetro (n.° 61), e nell'apparecchio si cambia in calore latente, che non ha più sensibilmente questa proprietà.

Da una tal'esperienza evidentemente si vede quanto l'atmosfera influisce sullo stato termometrico del Globo, e quindi quanto è ragionata l'usanza delle doppie finestre per conservar calde le stanze.

Percossa

650. Una sbarra di metallo, sottoposta ad alcuni colpi di martello, si riscalda a segno da produrre la combustione del fosforo alla presenza dell'aria.

L'aria, l'ossigene e il cloro sprigionano sotto la percossa una luce sì viva, da potersi scorgere anco in pieno giorno; ed è certo che deve accadere lo stesso degli altri gas. L'accendi-lume pneumatico è fondato sulla proprietà che ha l'aria di sprigionare, per effetto d'una compressione improvvisa, tanto calore da accendere l'esca.

Mongolfier ha provato, che un cannone o nuovo o vecchio si riscalda per effetto d'una scarica, più che se fosse empito di carbone incandescente, lasciato in esso per un tempo dieci volte maggiore di quello della scarica.

Il fatto dello sprigionamento del calore nell'urto dei corpi, e specialmente nell'ultima esperienza, sembra più favorevole all'ipotesi che riguarda il calore come il resultamento di vibrazioni dell'etere, che a quella che lo considera come una materia.

Attrito

651. L'attrito produce effetti analoghi a quelli prodotti dalla percossa o dall'urto. Una lama d'acciaio fregata sopra una tavola coperta di sabbia, diventa sì calda da non potersi maneggiare impunemente: così l'attrito rapido delle ruote con le sale, spesso è causa del loro incendio; e lo sfregamento di due pezzi di legno, è il mezzo del quale i selvaggi si servono per procurarsi il fuoco. Anco nell'acciarino ordinario, lo sfregamento di una pietra dura come la silice, stacca dall'acciaio alcune particelle di ferro che si accendono nell'aria; e queste ricevute incandescenti sull'esca, sulla polvere, ec., promuovono la combustione.

Citiamo un'esperienza importante di Rumford (*Mem. sur la chal.*, p. 29) sul calore prodotto per confricazione. Egli ha fatto muovere per via di confricazione rapida un puntarolo ottuso in

un cilindro sodo di bronzo di 13 libbre di peso, ed ha osservato, che nello spazio di due ore il puntarolo, con una pressione equivalente a cento quintali, ha ridotto in polvere 4115 grani di bronzo, e che intanto si era sprigionata una quantità di calore, capace di alzare 26,38 libbre d'acqua dalla temperatura della congelazione a quella dell'ebullizione; e il calore specifico della polvere staccata era lo stesso che quello del bronzo che non era stato confricato. La spiegazione di quest'esperienza non sembra facile nella teoria ordinaria del calorico

Un'altra esperienza è stata fatta da H. Davy, la quale conferma la conclusione dell'esperienza precedente, cioè confricando due pezzi di ghiaccio, è arrivato a fonderne una gran parte.

Cambiamento di stato

Il passaggio d'un corpo dallo stato di vapore allo stato liquido, o dallo stato liquido allo stato solido, è causa di sprigionamento di calore. Su questo proposito dicemmo abbastanza nel n.° 79.

Elettricismo

Di questo modo di sprigionar calore parlammo a suo luogo (n.° 341, 346).

Combinazioni

652. Le combinazioni chimiche sono una ricca sorgente di calore; e in generale in tutte le combinazioni si sprigiona calore, e spesso anco luce. Così mescolando 4 parti d'acido solforico con 1 parte d'acqua, la temperatura della mescolanza sale fino a 100°. Parimente la potassa e la soda, unite con gli acidi solforico, nitrico ec., sprigionano considerevolissime quantità di calore; ma in generale, nelle combinazioni che si fanno col contatto dell'acqua, l'evaporazione di questa assorbisce la maggior parte del calore, e la temperatura della mescolanza non si alza tanto da renderla luminosa.

Ecco alcuni esempi nei quali accade sprigionamento di calore e di luce. Si mescolino 2 parti di rame e 1 di solfo; si esponga primieramente la mescolanza all'azione del fuoco per fondere il solfo, e presto accaderà la combinazione, la quale poi prosegue senza il soccorso di alcun fuoco esterno; ed è tale la luce che se ne sprigiona, che l'occhio può appena sopportarne lo splendore. In vece del rame, si può anco sostituire piombo, ferro, zinco e

molti altri metalli, e si ottiene lo stesso effetto. Resultamenti analoghi si ottengon pure sostituendo fosforo al solfo.

Lo stato dei corpi e la loro scambievole affinità, bastano qualche volta per determinare la loro combinazione alla temperatura ordinaria, con sprigionamento di calore e di luce. Così il potassio, l'antimonio e il bismuto, ridotti in minutissime parti, si infiammano nel gas cloro. Così il calore dei nostri fuochi resulta dalla combinazione dell'ossigene dell'aria col carbonio e con l'idrogene delle legna e del carbone. E per una simile combinazione la temperatura degli animali si conserva sopra la temperatura dei corpi che li circondano.

653. In proposito di combinazioni, mi sembra opportuno il citare le seguenti esperienze.

Tutti i corpi solidi esercitano una certa azione sull'acqua e sugli altri liquidi. Puillet ha fatte molte esperienze, dalle quali resulta, che versando un liquido sopra un corpo solido qualunque, ridotto in polvere o in piccoli frammenti, la temperatura della mescolanza si eleva notabilmente. Il vetro, i metalli e gli ossidi bagnati con acqua, alcool, acido nitrico e olio, sprigionano in generale 0°,25 di calore; e le sostanze organiche, le quali si spolverizzano anco più completamente, sprigionano da 1 fino a 10 gradi.

In queste esperienze però non è mai molta la quantità di calore che si sprigiona, perchè il liquido non esercita la sua azione che sopra un piccol numero di punti soltanto, e perchè dall'altra parte sono ben poco stabili le combinazioni formate.

Combustione

654. Sebbene la combustione sia un fenomeno chimico, tuttavia non sarà inutile in un trattato elementare di Fisica indicare alcune particolarità di questo fenomeno, relative alle importanti applicazioni che ne sono state fate.

Secondo la teoria di Stalh tutti i corpi contenevano un principio d'infiammazione, che egli chiamò *flogisto*; e secondo questo principio, un corpo in combustione perdeva il suo flogisto, che riacquistava poi se veniva ricaldato col carbone. Questa teoria è evidentemente erronea, perchè un corpo qualunque che brucia, cresce di peso. Così 100g. di ferro in fili o in lame sottili, riscaldati a contatto con l'aria, bruciano, e producono più di 130g. d'ossido.

È propria di Lavoisier la gloria d'aver rovesciata la teoria del flogisto, e d'avere stabilita con molte esperienze la

teoria della combustione quale presentemente è adottata da tutti i Fisici e da tutti i Chimici.

La combustione è un fenomeno nel quale il gas ossigene si fissa sopra un corpo. Convien dire della combustione ciò che è stato detto delle combinazioni in generale. Infatti ora essa accade senza sprigionamento di luce, e anco senza sprigionamento di calore apparente, come nel fosforo e nel ferro esposto ad una bassa temperatura, alla presenza dell'aria; ora vi è sprigionamento di calore e di luce, e in tal modo appunto brucia il fosforo e anco il ferro nell'aria e nell'ossigene puro, quando sì dell'uno che dell'altro è stata prima opportunamente elevata la temperatura. La prima di queste combustioni è stata chiamata combustione *lenta*, la seconda combustione *viva*.

Lavoisier e molti Fisici dopo di lui hanno spiegato il calore sprigionato nelle combinazioni, per effetto del ravvicinamento delle molecole; ma questa spiegazione non soddisfa in tutti i casi. Per esempio, nella combustione del carbone per mezzo dell'ossigene non ha luogo condensazione, e anzi al contrario il carbone passa dallo stato solido allo stato gassoso, e tuttavia il calore che se ne sprigiona è in grandissima quantità. Molti Fisici non potendo credere infallibile la spiegazione ammessa generalmente, pensarono che il calore specifico del gas acido carbonico fosse minore di quello dei suoi elementi, e che la differenza producesse sprigionamento di calore; ma secondo le esperienze, questa differenza è piccolissima.

Da questi fatti e da altri analoghi, Davy e Berzelius conclusero, che bisognava cercare un'origine diversa da quella supposta fin allora, dello sprigionamento del calore nelle combinazioni. Quest'opinione vien confermata ancora dalle moderne esperienze di Dulong e Petit, dalle quali resulta, che nella maggior parte dei casi, la perdita di calore nel momento in cui si forma una combinazione, non è seguita da alcuna diminuzione nella capacità dei composti che ne resultano. Dunque i citati Fisici concludono, che questa grande elevazione di temperatura quale si manifesta nella maggior parte delle combinazioni, resulti dalla riunione dei due elettricismi (*vedi* n.° 368).

Berzelius però non dissimula a se stesso una difficoltà. I fenomeni elettrici ordinarii, dice questo celebre Fisico, giovano a spiegare l'azione dei corpi a maggiore o minor distanza, la loro attrazione prima della combinazione, e il fuoco prodotto da questa combinazione medesima; ma non bastano ad illuminarci sulla causa dell'unione permanente, e tuttavia resterebbe il dubbio, se ciò sia l'effetto d'una forza particola-

re, come la polarizzazione elettrica, o piuttosto una proprietà dell' elettricismo che non è sensibile nei fenomeni ordinarii. Ma lo scioglimento di un tal dubbio si trova nella maniera con cui Ampère considera l' azione delle molecole dei corpi, ammettendo che ciascuna molecola contenga una certa quantità d' elettricismo positivo o negativo inerente in essa. Questo elettricismo scompone il fluido circostante, dimanierachè ciascuna molecola si trova nello stato d' una boccia di Leida (n.° 368).

Con quest' ingegnosa ipotesi si rende ragione dell' unione permanente di due molecole caricate d' elettricismo diverso. Resta però sempre incerto come questa permanente unione abbia luogo fra due molecole dotate d' elettricismo della stessa specie.

655. In generale l' elevazione di temperatura favorisce la combustione d' un corpo; ma ogni corpo richiede una particolar temperatura. Così il fosforo brucia con vivacità a 45°, il solfo a 140°, il ferro a più di 500°, ec.

Questi numeri si riferiscono alla combustione viva, ma la combustione può effettuarsi a temperature diverse: il fosforo e il ferro si combinano con l' ossigene anco alla temperatura del ghiaccio, l' idrogene brucia ad un calore latente. il legno in pezzi, in un forno che è ad una temperatura inferiore a quella dell' ignizione, sparisce senza produzione di luce.

Ecco una tavola che rappresenta il calore sprigionato da uno stesso peso di corpi diversi.

Tavola del calore prodotto dalla combustione d' un chilogrammo di diverse sostanze

COMBUSTIBILI	CHILOGRAMMI di ghiaccio fuso	TERME (1)
Gas idrogene puro.	295	22125
Olio d'oliva secondo Lapl. 11116 / *Idem.* . . . . Rumford 9044 } media.	134	10080
Olio di rapa depurato.	124	9307
Olio bianco, secondo i medesimi . . . . . 10500 / 9479 } media.	133	9990
Sevo *idem.* . . . . . . 7186 / 8369 } media.	104	7777
Fosforo.	100	7500
Nafta, peso spec. 0,829 a 13°,02.	98	7338
Etere solfor. . . . 0,728 a 20°.	107	8030
Carbone di legno.	94	7050
Cocco puro.	94	7050
Cocco che dà 0,1 di cenere.	84,6	6345
Carbone fossile 1.ª qual. che dà 0,1 di cen.	94	7050
Id. 2.ª 0,1	84,6	6345
Id. 3.ª 0,2	76,1	5932
Legno secco qualunque.	48,88	3666
Legno che contiene 0,2 d' acqua.	38,41	2945
Alcool a 42°.	82	6195
Id. . . . a 33°.	70	5261

Questi numeri però son troppo piccoli, almeno relativamente a quelli resultati dalle nostre esperienze. Per es. per il carbone abbiam trovato 7914° invece di 7050; e quelli degli altri corpi inscritti nella tavola, e che abbiamo pure sperimentati, hanno data una simile differenza.

Della Fiamma

656. In questo articolo sulla Fiamma ci proponiamo di parlare della lanterna per uso dei minatori, imaginata da Davy. Premettiamo alcuni principii.

La fiamma è un gas in combustione, e non vi sono che i gas e i corpi volatili i quali brucino con fiamma.

(1) Per far passare un chilogrammo d' acqua dalla temperatura del ghiaccio che si fonde a quella dell' acqua bollente, è necessaria una quantità di calore, che modernamente è stata presa per base di tutte le misure di questo genere; ed è stata chiamata *terma* la centesima parte di questa quantità.

La temperatura d' una fiamma è molto più alta alla superficie esterna che nel centro: così la polvere da schioppo posta nell' interno d' una fiamma non si accende.

La presenza d' una materia solida rende la fiamma più brillante: così essa divien più vivace se vi si metta un poco di amianto o un poco di sabbia. Quindi è, che la luce del gas idrogene carbonato è molto più brillante di quella del gas idrogene puro; e per la stessa ragione brilla la luce sprigionata dallo zinco, dal fosforo e dal ferro in combustione (1).

657. La fiamma si estingue se venga abbassata la sua temperatura. Ciò si prova portando nella fiamma d' un lume un corpo d' una certa dimensione, come sarebbe una chiave, giacchè allora cessa la combustione della materia della fiamma, e una gran quantità del fumo è portata via dal gas.

Da ciò si comprende l' azione d' una tela metallica sulla fiamma. Una tal tela portata in una fiamma potrà farla cessare, se la materia della fiamma nel passare a traverso della tela, si raffredda tanto da trovarsi sotto la temperatura alla quale brucia nell' aria. È chiaro poi, che l' effetto d' una tela deve essere pro-

(1) Meritano d' esser conosciute le graziose esperienze del Prof. Vogel di Monaco sulla Fiamma dell' alcool capace di presentare varii colori. Si produce la fiamma *gialla*, accendendo l' alcool sopra sali a base d' ammoniaca, di soda, di manganese, di ferro, di mercurio, di platino, d' oro, di nickel, di cobalto e di bismuto. Si ottiene una fiamma *rossa*, servendosi di sali di cui le basi sieno calce, stronziana, litinia e magnesia. Se l' alcool è bruciato sopra sali di rame, d' uranio e d' allumina, si ottiene la fiamma *verde*; la quale si produce ancora sciogliendo nell' alcool un poco d' acido borico o d' etere idroclorico allungato. Si noti però che tutti i sali di cui si fa uso in queste esperienze, devono esser solubili nell' alcool (*Bullet. des Sc.* Nov. 1828. p. 319).

Anco Herschel ha fatte varie esperienze sui colori di diverse fiamme, e sugli spettri che esse producono, analizzandole per mezzo del prisma. La fiamma del cianogene, osservata a traverso d' un prisma, forma uno spettro diviso in un modo veramente singolare in diverse parti, circoscritte da molte fasce oscure, le quali dividono con molta uniformità l' estensione dello spettro; e anco queste parti luminose presentano tutte presso a poco la stessa intensità di splendore.

La fiamma dei *Fuochi rossi*, dei quali si fa uso nelle decorazioni teatrali, e che si producono con la combustione del nitrato di stronziana, presenta due diverse tinte rosse brillanti. Nello spettro che essa forma per mezzo del prisma, si osservano molte interruzioni; ma la circostanza più notabile è la formazione d' una linea brillantissima di colore turchino vivace, e assolutamente distinta da tutto il resto. La fiamma del potassio che brucia nel vapore di iodio, produce essa pure uno spettro di forma singolarissima. La luce tramandata dal gambero marino, vicino allo stato di putrefazione, è di colore verde-turchiniccio; e analizzata per mezzo del prisma produce uno spettro, l' intensità del quale è tanto debole che non lascia distinguere alcuna differenza di colore fra il mezzo e le estremità (*Ivi*. Agosto 1829, p. 122).

porzionato alla massa del metallo, alla sua capacità per il calore, ec.

Inoltre questa tela deve essere tanto più fitta, quanto più calore sprigiona un gas nella sua combustione.

Finalmente una fiamma passerà tanto più facilmente a traverso d'una tela, quanto minor calore sarà necessario per far bruciar la materia di cui essa è formata. Così il gas protofosforato passa a traverso d'una tela, che pur basta a trattenere il gas idrogene puro; e il gas idrogene puro non è trattenuto da una tela che trattiene assolutamente il gas idrogene carbonato.

È chiaro ancora, che se la tela era prima alla stessa temperatura della fiamma, non avrà verun'azione su questa, il che vien confermato dall'esperienza. Ecco perchè una fiamma, la quale in principio è trattenuta da una tela metallica, finalmente la attraversa senza estinguersi, quando ne ha alzata convenientemente la temperatura. (1). Ora da quanto abbiamo detto si può comprendere la costruzione della lanterna di sicurezza.

658. Si sa che nelle miniere di carbon fossile si sprigiona gas carbonato, che questo si mescola con l'aria, e che quando questi due gas sono in giusta proporzione, detonano se vi si avvicini un lume, e spesso producono la morte degli operai. Davy adunque imaginò d'inviluppare con una tela metallica la luce destinata ad illuminare le gallerie sotterranee. Quella di cui egli si serve contiene 750 fori per ogni pollice quadro; il filo di ferro o d'ottone di cui è tessuta, ha un diametro di $\frac{1}{59}$ di pollice in circa; e tutto l'inviluppo di tela metallica non ha più di 2 pollici di diametro, ed è invitato sul pozzetto dell'olio.

(1) Poichè la fiamma resta troncata da corpi tanto buoni quanto cattivi conduttori, la temperatura della tela non può essere la sola causa per cui la fiamma non attraversa questa tela. Il Prof. Libri ne trovò una più soddisfacente in una repulsione analoga all'elettrica e alla magnetica, e che spiegò con gli stessi principii con cui si spiegano quelle. Il fatto è, che se si presenta un filo metallico alla fiamma, questa apparisce respinta da quello, il che pure accade adoprando fili di qualunque metallo; e questa repulsione cresce in ragion diretta della massa del filo, e in ragione inversa della distanza della fiamma. Ammettendo che il contatto d'un corpo raffredda i gas che formano la fiamma, intorno al punto di contatto, è vero che sembra potersi render ragione dell'inflessione della fiamma da una parte e dall'altra di questo punto; ma poichè ciò accade con qualunque siasi corpo, e poichè l'effetto è più energico quanto maggiore è la massa del filo, mentre un filo più sottile trasmette più prontamente il calore, così la teoria di Davy non sembra dare una vera spiegazione del fenomeno. Ciò resta anco più avverato dal vedere l'indicata repulsione accadere ancora avvicinando fra loro due fiamme fino al contatto. (*Vedi* la Memoria del Prof. Libri, Antolog. Gen. 1827).

Se dunque in una cava o miniera si sviluppi gas carbonato, e penetri dentro alla lanterna, può produrre esplosione; ma poichè la fiamma si estingue passando a traverso della tela, l'infiammazione non si comunica al gas esterno. Una tal lampada può dunque trovarsi circondata da una mescolanza d'aria e di gas infiammabile, senza che per questo ne accada detonazione.

659. Un'altra importantissima osservazione fece il medesimo Davy, cioè che un filo di metallo riscaldato e messo in una mescolanza esplosiva d'ossigene e d'idrogene, d'aria e d'etere solforico, ec., divien rosso, e la mescolanza a poco a poco si consuma. Guidato egli da questo resultamento, mise sopra la fiamma della lanterna di sicurezza un filo di platino, sicchè quando questa lanterna si troverà in una mescolanza esplosiva, si estinguerà, il filo di platino resterà rosso, e l'operaio, avvertito del pericolo, avrà tempo di ritirarsi (1).

660. Diciamo qualche cosa del *Cannello da Saldatori*, detto dai francesi *chalumeaux*. Il più semplice è formato con una vescica piena di gas ossigene puro, alla quale è adattato un tubo, (*fig.* 436). Premendo la vescica, e dirigendo la corrente del gas ossigene sopra un carbone, si ottiene una temperatura alla quale ben pochi corpi posson resistere.

Più imponenti effetti si ottengono comprimendo il gas ossigene in una cassetta per mezzo d'un corpo di tromba analogo a quello della macchina di compressione (n.° 242). AB (*fig.* 436) è il corpo di tromba; CD è la cassa; E la vescica piena d'ossigene; e P il cannellino d'ottone per il quale esce il gas. Questo cannellino è montato in modo che può facilmente darsi alla corrente del gas una direzione a piacere. L'energia di questo apparecchio può accrescersi ancora, condensando una mescolanza di idrogene e d'ossigene nel rapporto di 2 a 1.

(1) Combinando quest'idea con l'altra idea della repulsione (*nota preced.*), questa teoria diviene ancora più facile. Poichè qualunque filo metallico esercita secondo il suo diametro e secondo la sua natura una repulsione costante sulla fiamma, è chiaro che due fili paralleli tanto vicini, che la loro distanza non sia maggiore del doppio del raggio della sfera di repulsione che si estende intorno a ciascuno dei loro punti, non lasceranno insinuarsi la fiamma fra loro, se pur questa non venga spinta da una forza maggiore di quella dell'intensità della repulsione che essi esercitano. Se dunque a questi due fili se ne aggiungano altri, verrà a formarsi un tessuto impermeabile alla fiamma. Una semplicissima esperienza rende evidente questo fatto. Se si faccia passare un filo di lino a traverso d'una rete metallica, tenuto in mano per un'estremità, e si accenda dall'altra, esso brucerà con fiamma continua e successiva; ma giunta la fiamma a piccola distanza dalla rete, si estinguerà affatto, qualunque sia la temperatura della rete medesima.

Nella parte inferiore della cassa è nno strato d'olio HK, nna porzione del quale, per effetto della pressioue del gas, sale nel tnbo IL, e così si trova al disopra del livello. Questo liquido serve ad impedire qualunque comunicazione fra il gas del condotto IL e il gas interno. Alla parte inferiore di questo condotto è adattata una ghiera munita di tele metalliche; e un' altra pure ne è alla parte superiore P, munita di cento e più tele metalliche; e la grossezza di tutta questa massa di tele è 25 millimetri.

È chiaro che queste tele servono ad impedire l'esplosione nell' interno. Quando si vuol fondere qualche sostanza, si accende il gas nel punto di dove esce, e si espone alla fiamma la sostanza da fondersi; ed è sì alta la temperatura, che pochi sono i corpi i quali non si fondano, sicchè in pochi minuti si fonde il platino, la calce e la barite.

661. Doebereiner nel 1823 scoprì che la spugna di platino determina la combustione del gas idrogene mescolato con l'aria o con l'ossigene; e in seguito trovò la stessa proprietà nel platino ridotto in pezzetti di foglia sottilissima, e anco nel nichel. E volendo dare una spiegazione del fenomeno, egli crede che il gas e il metallo nel trovarsi a contatto si carichino il primo d' elettricismo positivo e il secondo di negativo (1).

Questo fatto, esaminato poco tempo dopo in Francia da Thenard e Dulong, ha presentato a questi osservatori i seguenti resultamenti:

Che il palladio, il rodio e l'iridio presentano gli stessi fenomeni del platino;

Che altri metalli debbono prima ridursi a più o meno alte temperature, come l'osmio a 45°, e l'oro in polvere a 120°. Questa proprietà non appartiene soltanto ai metalli, ma ancora a molte altre sostanze: per esempio, si trova nel carbone, nel vetro, nella pomice e nella porcellana a temperature inferiori a 250°.

Su questo fenomeno influisce ancora moltissimo lo stato di divisione e la configurazione dei corpi: così l'oro in foglie non

(1) Citiamo io questo proposito la *lampada senaa fiamma*. Lo stesso Doebereioer ha trovato, che il lucignolo o fascetto di fibre di cotooe, il quale sostieoe la romboatione io una lampada a spirito di vioo, carbonizzaodosi, allorchè lo spirito è consumato, acquista la proprietà di mantenersi iocandesceote egualmeote che il filo di platino, per l' azione del vapore dell' alcool. Introducendo nella lampada una nuova quantità di questo liqoido, fioo ad empirla, egli vide contiouare la combostiooe leota fino per 24 ore.

determina l'infiammazione che a 280°, mentre in polvere la determina a 120°.

La spugna e i fili di platino esposti all'aria perdono la loro proprietà, ma la riacquistano per mezzo della calcinazione.

Molti di questi effetti hanno una certa analogia con l'esperienza di Davy, nella quale egli ha determinata la combustione lenta dell'idrogene per mezzo dell'ossigene a un calore latente; e i medesimi servono ancora a far meglio comprendere la maniera con cui agisce il filo di platino nella lampada di sicurezza (n.° 657). Forse passa ancora qualche rapporto fra questi effetti e quelli che ha scoperti Thenard, relativamente all'azione dell'ammoniaca su molti metalli

Del Freddo

662. Parlammo altrove (n.°87,88) dei varii mezzi di produrre il freddo per mezzo del cambiamento di stato dei corpi: diciamo ora qualche cosa intorno al freddo prodotto nella dilatazione.

Sembra evidente, che nella dilatazione un corpo debba assorbire tutto il calore sprigionato nella condensazione; ma difficile è il provare il freddo prodotto dalla dilatazione dei solidi e dei liquidi, mentre semplice al contrario è l'esperimento relativo ai gas. Se si condensi l'aria in una fontana di compressione, e a piccola distanza dall'orifizio si metta una pallina di vetro vota, o qualunque altro corpo di piccola massa, il freddo prodotto dalla dilatazione dell'aria basterà per operare la congelazione del vapore che questa contiene, e un tal vapore si depositerà in stato di ghiaccio sulla pallina di vetro; e di più è chiaro che questo freddo potrà divenire tanto più intenso, quanto maggiore sarà la compressione primitiva.

663. Qui sembra opportuno il riportare alcune esperienze che si fanno nel voto.

E primieramente l'analogia porta a credere, che il voto non deve contenere se non il calore raggiante, emesso dai corpi circostanti, il quale in conseguenza non fa che passare in esso. E infatti Gay-Lussac ha trovato, che la temperatura d'uno spazio non prova alcuna variazione nè per la diminuzione nè per l'aumento del suo volume.

664. Un'altra esperienza opportuna a questo proposito è la seguente. Quando si lascia rientrar l'aria in uno spazio voto, un termometro ivi situato, e che ha acquistata una temperatura fissa, nel momento in cui l'aria vi entra, indica un'elevazione di temperatura. Il qual fatto si spiega dicendo, che le prime porzioni d'aria son compresse dalle seguenti, e così di seguito.

L'esperienza può farsi anco in modo da produrre calore e freddo nel tempo stesso. Si riuniscano due globi con un tubo di comunicazione, in uno si faccia il voto, l'altro si lasci pieno d'aria, e poi si chiudano ambedue. Quando si apre il robinetto che intercettava la comunicazione fra questi due globi, il termometro posto nel globo voto si alza, mentre si abbassa quello posto nel globo pieno d'aria.

SORGENTI DEL CALORE ANIMALE

665. La proprietà dell'uomo e degli animali a sangue caldo, di conservare una temperatura quasi costante, mentre il mezzo nel quale essi vivono è soggetto a continue variazioni, è tra i fisici fenomeni quello che forse più merita la nostra attenzione. Il calore in tutti i corpi bruti tende continuamente all'equilibrio; e i baratti reciproci di calore che accadono fra questi corpi, producon sempre una temperatura uniforme. Al contrario gli animali a sangue caldo, egualmente sottoposti alle perdite prodotte dal contatto, dall' evaporazione e dal raggiamento, hanno in se stessi una causa di riproduzione di calore, che mantiene in generale la loro temperatura fra 35° e 45° sopra quella del ghiaccio quando si fonde. Ecco una tavola delle diverse temperature di esseri animati, osservate mentre l' aria era a 15°, 15.

	Temperatura media
Nove uomini in età di 30 anni . .	37°,14
Quattro uomini . . 66	37,13 (a)
Quattro giovani . . 18	36,99
Tre bambini fra 1 e 2 giorni . . .	35,06
Due corvi adulti	42,91
Quattro gufi robusti nel volo . . .	40,91
Civetta adulta	41,47
Terzuolo adulto	41,47
Tre piccioni	42,98
Tre passerotti vivaci	39,08
Passerotto adulto	41,96
Anto adulto	42,88
Due cornacchie che cominciano a mangiar da se	41,17
Cane di tre mesi	39,48
Gatto maschio adulto	39,78
Porco indiano adulto	35,76
Due carpi	11,69
Due tinche	11,54
Acqua nella quale vivono questi pesci.	10,83

Da questa tavola apparisce, 1.° che gli uccelli hanno una

(a) Abbiamo trovata una temperatura quasi eguale in uomini vecchi più di 90 anni.

temperatura più alta di quella dell'uomo e degli animali mammiferi: 2.° che fra i mammiferi l'uomo ha in generale la temperatura più bassa: 3.° che l'uomo adulto ha in generale una temperatura più alta di quella dei giovani; e lo stesso è degli animali adulti, paragonati ai più giovani: 4.° che i pesci hanno una temperatura più alta di quella dell'acqua nella quale vivono.

Aggiungeremo, che con ripetute esperienze abbiamo trovato le indicate temperature un poco più alte in estate che in inverno.

Molte esperienze di questo genere ha fatte J. Davy sopra lepri, tigri, cavalli, bovi, e molti altri animali, dalle quali si vede che il porco ha una temperatura di 40°,5, che è la più alta fra quelle degli animali mammiferi (1).

(1) Ecco il quadro dei principali resultamenti ottenuti da Davy nelle sue esperienze, e che credo utile di riportare.

Tavola delle temperature di diversi Animali, osservate da J. Davy

NOME DEGLI ANIMALI	TEMP. in gradi centigr.	TEMP. circost.	NOME DEGLI ANIMALI	TEMP. in gradi centigr.	TEMP. circost.
Mammiferi					
Scimmia.	+39°,7	+30°	Alce, o granBestia, femina. . . .	39°,4	25°,6
Paugolino.	26,7	27	Porco.	40,5	25.6
Pipistrello. . . .	38,1	28	Elefante.	37,5	26,7
Scoiattolo.	38,8	27	Porco marino. . .	37,8	23,7
Topo comune. . .	38.8	26,5			
Lepre comune. .	37,8	26,5	*Uccelli*		
Icneumone, o Topo di Faraone.	39,4	27			
Tigre.	37,2	26,5	Nibbio.	37,2	25.3
Caue.	39,3	26,5	Gufo.	40,0	15.6
Gatto comune. .	38,3	15	Pappagallo. . . .	41,1	24
Detto.	38,9	26	Gracchia.	42,1	31,5
Pantera.	38,9	27	Tordo comune. .	42,8	15,5
Cavallo (di razza araba)	37,5	26	Passero comune. .	42,1	26,6
			Piccione comune.	42,1	15,5
Montone	da 39,5 a 40	19	*Detto*.	43,2	25,5
			Pollo comune. . .	42,5	4,5
Detto.	da 40 a 40,5	26	*Detto*.	42,8	25,5
			Pollo d'India. . .	42,7	25,5
Becco.	39,5	26	Gallo adulto. . .	43,9	25,5
Capra.	40,0	26	Gallo vecchio. . .	43,3	25,5
Bove.	38,9	26	Oca comune. . .	41,7	25,5

Inoltre ha trovato, 1.° che gli uomini di diverse razze hanno quasi la stessa temperatura: 2.° che la temperatura dell'uomo cresce alquanto allorchè egli passa da un paese freddo o anco temperato, in un paese caldo: 3.° che gl'insetti hanno una temperatura poco superiore a quella dell'aria nella quale vivono.

666. In quanto alla causa del calore animale, conviene attribuirla alla respirazione, poichè dalle osservazioni si rileva, che la temperatura d'un animale è tanto più alta, quanto la sua respirazione è più attiva. Ora l'aria è assolutamente necessaria per la conservazione della vita degli animali; ed è egualmente noto, che niun animale non può respirare che per un tempo limitato una stessa quantità d'aria. Le osservazioni di

NOME DEGLI ANIMALI	TEMP. in gradi centigr.	TEMP. circost.	NOME DEGLI ANIMALI	TEMP. in gradi centigr.	TEMP. circost.
Anitra comune. .	43°,9	25°,5	Trota comune. . .	14°,4	13°,3
Anfibii			Pesce volante. . .	25,5	25,3
Testuggine. . . .	28,9	26	*Molluschi*		
Detta.	29,4	32	Ostrice comune.	27,8	27,8
Test. Geometrice.	16,9	16	Chiocciole. . . .	24,6	27,8
Detta.	30,5	26,6	*Crostacei*		
Rena *ventricosa.*	25,0	26,7	Gambero.	26,1	26,7
Iguana, o Ramarro dell'Indie.	29,0	27,8	Gamb. di mare. .	22,2	22,2
Serpente.	31,4	27,5	*Insetti*		
Detto.	29,2	28,1	Scarafeggio. . . .	5,0	24,3
Detto.	32,2	28,3	Lucciole.	23,3	22,8
Pesci			Grillo.	22,5	16,7
Pesce cane. . . .	25,0	23,7	Vespa.	24,4	23,9
Berrettino, nel cuore. . . .	27,8	27,2	Scorpione.	25,3	26,1
D.° nei musc. int.	37,2	27,2			

Per gli Anfibii, il numero che si trova nella colonna delle *temperatura circostante*, indica la temperatura dell'aria; e per i pesci, per l'Ostrice comune e per il Gambero marino, indica la temperatura del mare.

Nel Berrettino si osserva il fenomeno particolare, che alla temperatura di 27°,2 del mare, esso ha una temperatura di 27°,8 nel cuore, e di 37°,2 nei muscoli interni; il che dipende dall'essere il cuore di questo pesce molto vicino alla superficie esterna del corpo.

Mayow, Black, Schèele, Lavoisier, Priestley, Seguin, ec., servono a confermare questa opinione, che è pure stata universale in tutti i tempi.

Tutti i Fisici pertanto hanno riconosciuto, che una porzione dell'ossigene dell'aria vien consumato nel formare acido carbonico per la combustione del carbonio del sangue venoso.

Dalton e Thomson seguiti da pochi fisici hanno pensato, che il volume d'acido carbonico, aggiuntovi l'ossigene residuo, rappresenti tutto l'ossigene dell'aria dopo la respirazione. Tutti però in generale ammettono, che una porzione d'ossigene sparisce; secondo Davy questa diminuzione è [illegible]; secondo Hallen e Pepys, $\frac{1}{100}$; e secoudo Bostoch [illegible]. Se non che, questi numeri son relativi soltanto alle esperienze dalle quali son resultati, poichè questa perdita dipende dall'età, dalla specie dell'animale, dalla durata dell'esperienza, e dal volume d'aria respirata.

Anco Grawford e Lavoisier hanno riconosciuto la perdita d'una porzione d'ossigene, e da alcune esperienze di Gay-Lussac sugli uccelli; e dalle ricerche di Humboldt e di Provençal sulla respirazione dei pesci, apparisce manifestamente un'assorbimento d'ossigene; ed è probabile, che questa sparizione d'una certa quantità d'ossigene nel contatto dell'aria e del sangue, sia una condizione tanto necessaria alla vita degli animali che respirano, quanto quella della formazione dell'acido carbonico. E infatti, secondo le osservazioni dello Spallanzani e di Schèele, l'acido carbonico formato nella respirazione degl'insetti, aggiuntovi l'ossigene residuo, rappresenterebbe tutto l'ossigene dell'aria; ma a noi non sembra conforme alla verità un tal resultamento.

L'ossigene che sparisce è in tal quantità, che in generale può rendersi manifesto mettendo un'animale in una campana, e adattando a questa un tubo che peschi nell'acqua: appena l'animale vi è introdotto, si vede l'acqua salire nel tubo, il che indica una diminuzione di volume dell'aria; la qual diminuzione sarebbe anco maggiore, se una porzione dello spazio rimasto privo d'aria, o anco tutto, non fosse riempito dell'esalazione dell'azoto.

Diverse sono le opinioni dei Fisici relativamente alla parte che ha l'azoto nella respirazione. Secondo Davy, Henderson ed alcuni altri, il gas azoto è assorbito nella respirazione dell'uomo e dei mammiferi; secondo Berthollet e Nysten viene anzi sprigionato, e finalmente Edwards, dopo un attento esame delle osservazioni precedenti, ha creduto di poter ammettere, che v'è nel tempo stesso assorbimento ed esalazione. La qual'opinione noi non

crediamo punto fondata, perchè in più di dugento esperienze fatte da noi stessi, non abbiamo trovato se non sprigionamento d'azoto, e in ciò ci troviamo perfettamente d'accordo con Dulong.

Favorevoli a questa nostra opinione sembrano le esperienze fatte da Magendie sulla nutrizione, dalle quali resulta, che la vita degli animali non può esser conservata lungo tempo con un nutrimento formato di zucchero, gomma, olio e acqua stillata. Gli animali sottoposti a questo regime muoiono in poco tempo; le loro orine, secondo Chevreul, non contengono che poco acido urico; e la loro bile è molto carica di picromele, nel qual principio Thenard non ha trovato azoto.

667. È da notarsi, che gli elementi dell'aria atmosferica, in mezzo a tante cause d'alterazione, conservano sempre lo stesso rapporto. La combustione del legno e l'ossidazione dei metalli tendono a scemarne l'ossigene; e la respirazione consuma una certa quantità di questo gas, e accresce la quantità d'azoto. Bisogna dunque che la nitrificazione, nella quale è assorbito l'azoto, i lavori delle miniere, ed altre sorgenti naturali d'acido carbonico, compensino le prime cause.

Dall'analisi dell'aria da me fatta negli anni 1822, 1826 ho ottenuto resultamenti quasi perfettamente eguali.

1.ª esper.	100 d'aria atmosfer.	20,99 ossig. 79,01 azoto
2.ª		21,01 ossig. 78,96 azoto
3.ª		21,02 ossig. 78,98 azoto

Il resultamento medio è eguale a quello indicato da Humboldt e da Gay-Lussac nel 1805. Se dunque l'aria soffre una variazione nella sua composizione, essa è così piccola, che non si rende sensibile nello spazio di 21 anno.

668. Fin dall'origine della Fisiologia sperimentale, i medici illuminati hanno cercato la causa del fenomeno straordinario che accade nello sviluppo del calore animale; e Haller, Hunter, Bichat, Legallois ec, hanno contribuito più o meno a rischiarare questo oscuro argomento; ma si può asserire che la Fisiologia sola non poteva mai dare una soluzione completa del problema relativo alle cause dello sviluppo di questo calore: era quindi necessario il soccorso delle scienze fisiche, arricchite dalle moderne scoperte, per ben calcolare l'influenza della respirazione; e tal soccorso mancava agli antichi Fisiologi. Solamente dopo le memorabili esperienze di Lavoisier sulla combustione è stato ri-

levato come la respirazione agisca sullo sviluppo del calore animale. In seguito poi, anco Laplace e Grawford hanno pur contribuito moltissimo a rischiarare questo argomento.

I Fisiologi che più si sono occupati nello studio del calore animale, sono stati Bichat, Legallois, Tillaye, Brodiè, Chossat, Delarive; ec.; ma dalla lettura delle loro opere apparisce che nessuno ha trattata la questione direttamente. Il raffreddamento degli animali posti in diverse circostanze, era opportunissimo per dare utili nozioni sul calore animale, ma non poteva mai condurre alla soluzione completa del problema. Ciò che più importava era il fare un paragone fra il calore sviluppato nella combustione, e quello che si produce nella respirazione. Senza conoscere perfettamente questi due elementi, sarebbe impossibile stabilire alcun sistema sulle cause del calore animale. Dunque le due prime determinazioni che debbon condurre alla soluzione del problema sono, 1° il calore sprigionato nella formazione dell' acido carbonico; 2.° il calore emesso da un animale nel tempo in cui forma la stessa quantità d' acido carbonico.

669. Studiamo primieramente la prima questione. Il calorimetro di cui ci siamo serviti è d' una specie particolare. Esso consiste in una cassa quadrata di rame sottilissimo: vi sono quattro agitatori, ossia strette lastre curve, parimente di rame, che sono immerse nell' acqua, e che servon a stabilire l' uniformità nella temperatura della massa liquida, e sono attaccate a bacchette di legno, perchè non ricevano calore dalla mano che le tiene e le agita. Tutto questo apparecchio pesa 4432 ,5. La serpentina è formata d' una cassetta rotonda, e d' una serpentina propriamente detta. Questa cassetta è situata nel mezzo d'una serpentina, con la quale è in comunicazione per mezzo di due tubi, ed è destinata a contenere il crogiuolo di platino, nel quale è stata posta una quantità nota di carbone puro. L' ossigene o l' aria vi entra perfettamente prosciugata, dopo esser passata sul cloruro di calcio. Questo ossigene o quest' aria brucia il carbone, e deposita il suo calore passando per la serpentina, la quale è lunga più di 12 piedi, ed ha un diametro di due o tre linee. Per mezzo di buoni termometri si conosce la temperatura del gas quando entra e quando esce. La serpentina pesa 1620g,5; e il peso totale dell' acqua, aggiuntovi il peso della cassa, della serpentina, ec. è 37454g,6, ossia 62 libbre incirca.

La durata media dell'esperienza era fra i 15 e i 20 minuti; l' aumento di temperatura era di 2° centigradi incirca; i termometri erano tanto sensibili, che lasciavano rilevare un cinquantesimo di grado; e poichè tre ne erano nel calorimetro, così la temperatura poteva osservarsi con molta esattezza. Il carbone che era nella cassa veniva acceso con un mezzo particolare.

Rumford con un artifizio ingegnoso potè evitare il raffreddamento del calorimetro, cioè cominciando dal raffreddarne l'acqua, e poi sospendendo l'esperienza quando la temperatura, per l'effetto che egli voleva misurare, era giunta tanto al di sopra di quella del mezzo, quanto prima era al di sotto. Noi pure siamo ricorsi qualche volta ad un tale artifizio, ma molte ragioni ci hanno indotto a rinunziarvi, e a preferire piuttosto di prender l'acqua alla temperatura dei corpi circostanti. Solo bisogna tener conto del raffreddamento nel decorso dell'esperienza. Si può ammettere la legge di Newton, secondo la quale, in così piccolo intervallo, il raffreddamento è proporzionale all'eccesso di temperatura; poichè le esperienze di Dalton, Laroche, Dulong e Petit, le quali dimostrano l'inesattezza di questa legge nei casi estremi, fanno vedere nel tempo stesso che tal legge non è molto lungi dal vero, quando la temperatura del corpo caldo non è maggiore di quella del mezzo circostante se non di 20 o 30 gradi (*Journ. de l'Ecole pol.* XI). Ora nel nostro caso l'eccesso della temperatura del calorimetro sulla temperatura dell'aria, non oltrepassa i 3 gradi: dunque si può ragionevolmente far uso della legge di Newton, per stabilire la correzione della perdita di calore sofferta dal calorimetro nel decorso dell'esperienza.

670. E siccome la presenza dell'idrogene e di qualche base nel carbone ordinario avrebbe potuto alterare i resultamenti delle esperienze, così abbiam dovuto principalmente occuparci nel preparare il carbone puro. Ciò abbiamo ottenuto per mezzo della scomposizione dello zucchero bianco di prima qualità, e ben cristallizzato, sicchè riscaldato a contatto dell'aria, non lasciava il minimo residuo. Primieramente è stato scomposto in un fornello ordinario di laboratorio, ad una temperatura rossa, e quindi scaldato in un fornello da fonditori, alimentato vivamente da un mantice. La calcinazione in questo ultimo fornello ha durato un'ora. Il fornello produceva un calore molto considerevole, poichè vi si fondevano con molta facilità il rame e l'acciaio. Il carbone ottenuto in tal modo era brillante, duro e di combustione difficilissima, poichè messo in mezzo a carboni accesi, diveniva rosso senza produrre la più piccola fiamma, e ritirato appena dal fornello, subito si estingueva totalmente. Anco una semplice corrente d'aria bastava a spengerlo, e la sua combustione non poteva esser mantenuta che dall'ossigene puro; e se il carbone cessava per un quarto di minuto di trovarsi a contatto con questo ossigene, diveniva subito nero. Questa proprietà unita a quella di non produrre fiamma, è il carattere distintivo del carbone puro, il quale al pari del diamante cessa d'esser lucente, e diviene opaco appena comincia a bruciare. Noi stessi abbiamo trovato, che dieci grammi di questo carbone non davano quantità

valutabile d'idrogene, neppure dopo la sua trasformazione in acqua per mezzo della mescolanza d'un peso decuplo d'ossigene. Dall'altra parte le esperienze di Davy provano, che il carbone moltissimo calcinato non contiene neppure $\frac{1}{50060}$ d'idrogene (*An. de Chim. et Phys.* t. II).

La media di quattro esperienze ha dato 7914°,7 per la quantità di calore sprigionato nella trasformazione d'una parte di carbone in acido carbonico, ossia, la combustione d'una parte di carbone sprigiona una quantità di calore capace di fondere 1041$^{lib.}$,2 di ghiaccio.

Dalla combustione del gas idrogene è resultata una quantità di calore capace di fondere 315,2 parti di ghiaccio.

671. Passiamo ora al paragone del calore animale col calore sviluppato nella respirazione. In questa ricerca, non si trova la stessa uniformità e la stessa costanza che nelle ricerche sulla materia inorganica, poichè nel nostro caso l'affinità degli elementi è soggetta all'azione del potere vitale, che può esser modificato dall'età, dal temperamento, dallo stato di salute, dalla natura degli alimenti e da molte altre circostanze.

Per fare quest'esperienza, si mette l'animale in una cassetta di rame, grande abbastanza, perchè esso vi stia comodamente. Questa cassetta ha un orlo scanalato nel quale entra il coperchio, e che si empie di mercurio, ed è fissata in un altra cassa parimente di rame, piena d'acqua pura; ed è noto il peso di tutto il rame e dell'acqua. Tutto questo apparecchio è retto da sostegni di legno secco; dall'altra parte l'animale è separato dal rame per mezzo di bacchette di vinco, per non ricevere calore dal metallo. L'aria vien somministrata da un gassometro esattamente graduato: quest'aria passa primieramente nella cassetta per tanto tempo quanto occorre, perchè, nel momento in cui si osserva la temperatura dell'acqua, la quale dee trovarsi con moltissima precisione, vi si trovi nel medesimo stato che al fine dell'esperienza. Per tutto il tempo dell'esperienza, che suol esser due ore, l'aria arriva sull'animale con una velocità costante. Il gas che è stato respirato contiene ordinariamente sei per cento d'acido carbonico, la qual quantità si determina trattando l'aria con la potassa: questo fluido, spogliato del suo acido carbonico, si analizza poi per mezzo del gas idrogene. Per conoscere esattamente le alterazioni dell'aria nella respirazione degli animali, abbiamo analizzato spesso l'aria atmosferica che doveva essere ad essi somministrata, e il resultamento è sempre stato di 21 d'ossigene e 79 d'azoto.

672. L'apparecchio è combinato in modo, che il gas respirato vien ricevuto immediatamente sul mercurio: così non v'è

pericolo che l'acqua disciolga l'acido carbonico. Per rischiaramento maggiore, diamo ora la descrizione di questo apparecchio, destinato a misurare il calore animale (*fig.* 437).

Qualunque apparecchio per misurare il calore animale, deve esser composto di tre parti principali; d'un gassometro che somministra l'aria all'animale, d'una cassetta che contiene l'animale stesso, e d'un altro gassometro che riceve il gas respirato, le quali tre parti sono indicate nella figura con le lettere A, B, C. A è il serbatoio dell'aria, e consiste in un gassometro esattamente graduato; e per mezzo dei tubi laterali H ed F si conosce il livello dell'acqua nell'interno, e in conseguenza il volume del gas Un termometro *z* serve a indicarne la temperatura, e un manometro I a indicarne l'elasticità: sopra il gassometro è posto un imbuto *k*, mantenuto pieno da una tinozzetta L con cui è in comunicazione, e la quale riceve pur la sua acqua da un gran cilindro *p*. Quando si vuol far escire il gas, si apre il robinetto di *k*; allora l'acqua cade, e scaccia il gas per il tubo R, che prosegue sempre ad escire con una velocità costante; ed un'egual velocità può aversi in tutte le esperienze per mezzo d'un arco di circolo graduato, sicchè si può sempre aprire il robinetto d'un'egual quantità (*Vedi* n.° 221).

Per mezzo del termometro *q* si conosce la temperatura dell'aria quando entra nella cassetta, e per mezzo d'un altro termometro *t* si conosce la temperatura della medesima quando esce. L'aria dopo la respirazione è ricevuta nel gassometro C, il quale consiste in un gran cilindro di ferro fuso, d'un piede incirca di diametro, coperto con lo stesso metallo, nell'interno del quale è fissato un cilindro di legno d'8 pollici, e l'intervallo fra questi due cilindri è pieno di mercurio. Il cilindro di legno è inviluppato in un altro voto cilindro mobile di rame, inverniciato, che in principio pesca nel mercurio; ma a misura che il gas respirato arriva nel suo interno, esso vien sollevato da un contrappeso *w*, il quale è un piccolo vasetto voto, che a poco a poco si empie per mezzo d'un altro simil vasetto *u* pieno d'acqua, col quale comunica per via d'un sifone stretto.

Per mezzo dei regoli F e D divisi in parti eguali si conosce esattamente il volume del gas. A motivo della flessibilità del tubo di piombo *to*, il cilindro di rame può salire senza che ne soffra veruna parte dell'apparecchio. Per mezzo del manometro I si giudica se la pressione interna è eguale alla pressione esterna. Quando è escluso tutto il gas del serbatoio A, si misura esattamente il volume del gas respirato, del quale si conosce la temperatura per mezzo d'un termometro *x*. Allora si chiudono tutti i robinetti, e con una pressione più o meno forte esercitata sul cilin-

dro di rame, si fa escire il gas per il tubo *l*, e si riceve sul mercurio in una tazza di porcellana.

α, β e γ rappresentano i sostegni di legno destinati a reggere il tubo di piombo, a misura che il cilindro di rame esce dal serbatoio.

Il volume d'aria somministrato all'animale in ciascuna esperienza è di 45 o 50 litri.

TAVOLA DELLE ESPERIENZE

1.ª *Esperienza*

Coniglio di molti anni.

Durata dell'esperienza, 1 ora e 36 minuti:

Volume d'aria somministratagli a 8°,37 = $47^{lit.},993$. .... { 10,079 ossig. / 37,914 azoto

Dopo la respirazione

$47^{lit.},842$. . . . { 3,076 acido carbonico / 6,023 ossigene / 38,743 azoto

Acido formato. . . . . $3^{lit.},076$

Azoto sprigionato. . . . . 0 ,829

Ossigene sparito. . . . . . 0 ,980

Ossigene sparito = $\frac{1}{3}$ dell'acido formato

= $\frac{1}{4}$ dell'ossigene totale consumato:

Azoto sprigionato = $\frac{4}{5}$ dell'ossigene sparito

= $\frac{8}{31}$ dell'acido formato.

Calcolo di questa esperienza

L'elevazione della temperatura di $25387^{g},5$ d'acqua è di 0°,703; dunque $25387^{g},5 \times 0,703$ è la quantità totale di calore emesso dall'animale nel decorso dell'esperienza, la qual quantità si rappresenta con 100°. L'acido carbonico formato nello stesso tempo, ha sprigionato una certa quantità di calore che può sempre trovarsi, perchè un grammo di carbone trasformandosi in acido carbonico, sprigiona una quantità di calore capace d'elevare d'un grado $7914^{gr},2$ d'acqua. E poichè è nota la composizione dell'acido carbonico, è noto il carbonio che vi è contenuto, e quindi si deduce il calore sprigionato dalla combustione di questo carbonio nei polmoni. Facendo tutti i calcoli, che son facilissimi, si troverebbe che questa quantità di calore è $\frac{68,5}{100}$ di tutto il calore emesso dall'animale, e che sono spariti $0^{lit.},980$ d'ossigene. Questo ossigene ha formato acqua; ed essendo nota la composizione di questo liquido, si trova l'idrogene bruciato

per l' ossigene, e quindi dal n.° 668 si ha il calore sprigionato, il quale è $\frac{21,9}{100}$ del calore totale. Avremo dunque

Calore animale. 100
Calore prodotto dalla formazione dell' acido carbonico . . . . 68,5 }
Calore prodotto dalla formazione dell' acqua. . . . . 21,9 } 90,4

Nella stessa maniera si calcolano le esperienze seguenti.

2.ª *Esperienza*

Coniglio medesimo.

Calore animale. 100
Calore prodotto dall' acid. carb. . 64,9 }
Calore prodotto dalla formazione dell' acqua. . . . . 20,9 } 85,8

3.ª *Esperienza*

Sei piccoli conigli di 15 giorni.
Durata dell' esperienza 2 ore e 5 minuti:
Volume d' aria somministrato a 9°,25
= 49$^{\text{lit.}}$,475 . . . . { 10,389 ossigene; 39,086 azoto }
Dopo la respirazione 48$^{\text{lit.}}$,689 { 2,955 acido carbonico; 6,216 ossigene; 39,517 azoto }

Acido formato. 2,955
Ossigene sparito. . . . 1,218
Azoto sprigionato. . . . 0,431
Ossigene sparito = $\frac{12}{30}$ dell' acido formato
= $\frac{12}{41}$ dell' ossigene totale consumato;
Azoto sprigionato = $\frac{1}{3}$ dell' ossigene sparito
= $\frac{2}{15}$ dell' acido formato.

Elevazione della temperatura della massa di 20822,8 grammi d' acqua, 0°,988: quindi

Calore animale. 100
Calore prodotto dall'acido carbonico. 58,5 }
Calore prodotto dalla formazione dell' acqua. . . . . 23,6 } 82,1

4.ª *Esperienza*

Coniglio maschio.
Calore animale. 100

Calore prodotto dall' acido carb. . .	68,3	86,7
Cal. prodotto dalla form. dell'acqua.	18,4	

5.ª *Esperienza*

Tre porci d' India maschi adulti.

Durata dell' esperienza 1ora 54' :

Volume d' aria somministrato a 9°,47 = 48lit.,046.	10,089 ossigene	
	37,957 azoto	
Dopo la respirazione 48lit.,371 =	2,588 acido carbonico	
	6,760 ossigene	
	39,023 azoto	

Acido formato. 2,587

Ossigene sparito. 0,707

Azoto sprigionato. 0,066

Ossigene sparito = $\frac{7}{16}$ dell' acido formato = $\frac{1}{13}$ dell' ossigene totale consumato ;

Azoto sprigionato = $\frac{1}{11}$ in circa dell' ossigene sparito = $\frac{1}{39}$ dell' acido formato.

Elevazione della temperatura di 23310,5 grammi d' acqua, 0°,64 ; e quindi

Calore animale.	100	
Calore prodotto dall' acido carbon. .	69,4	88,8
Calore prod. dalla form. dell'acqua,	19,4	

6.ª *Esperienza*

Tre porci d' India femmine adulte.

Calore animale.	100	
Calore prodotto dall'acido carbonico.	69,6	88,9
Calore prod. dalla form. dell' acqua,	19,3	

7.ª *Esperienza*

Cane di 5 anni incirca.

Durata dell' esperienza, 1ora 31'

Volume d' aria somministrato, a 8°,60 = 47lit.,657.	10,008 ossigene
	37,649 azoto
Volume d' aria dopo l' esperienza, ridotto alla stessa temperatura. 47lit.,214	3,768 acido
	4,424 ossigene
	39,022 azoto

Acido formato. 3lit.,768

Ossigene sparito. . . . . 1 ,806

Azoto sprigionato. . . . . . . 1 ,374

Ossigene sparito = $\frac{9}{19}$ dell' acido formato,

Azoto sprigionato = $\frac{2}{9}$ dell' ossigene sparito
= $\frac{7}{19}$ dell' acido formato

Elevazione della temperatura di 25387g,5 d' acqua, 1°,10

Calore animale. 100
Calore prodotto dall' acido. . . . . 54,9 } 80,8
Calore prodotto dall' acqua. . . . 25,9 }

8.ª *Esperienza*

Cane di 7, o 8 mesi.
Durata dell' esperienza 1^{ora} 42'.

Volume d' aria, a 12°,5 = 47$^{lit.}$,891 { 10,057 ossigene; 37,834 azoto

Dopo la respirazione 47$^{lit.}$,265 { 2,777 acido carbonico; 5,889 ossigene; 38,599 azoto

Acido formato. . . . . 2$^{lit.}$,777
Ossigene sparito. . . . . 1 ,391
Azoto sprigionato. . . . . . . 0 ,761
Ossigene sparito = $\frac{1}{2}$ dell' acido formato
= $\frac{14}{61}$ dell' ossigene totale consumato,
Azoto sprigionato = $\frac{1}{2}$ dell' ossigene sparito
= $\frac{1}{4}$ dell' acido formato.

Elevazione di temperatura di 20822 ,8 d' acqua, 1°,088; quindi

Calore emesso dall' animale. 100
Calore prodotto dall'acido carb. . . . 49,6 } 74,1
Calore prod. dalla form. dell'acqua. 24,5 }

9.ª *Esperienza*

Due cani di quattro o cinque settimane.
Durata dell' esperienza, 1^{ora} 42'

Volume d'aria, a 7°,37 = 47$^{lit.}$,058 } 9,882 ossigene; 37,176 azoto

Dopo la respirazione. . . . 45$^{lit.}$,940 { 4,018 acido carbonico; 3,649 ossigene; 38,273 azoto

Acido formato. . . . 4$^{lit.}$,018
Ossigene sparito. . 2 ,215
Azoto sprigionato. 1 ,097
Ossigene sparito = $\frac{11}{20}$ dell' acido formato
= $\frac{7}{31}$ dell' ossigene totale consumato.

Elevazione della temperatura di 25387,5 grammi d' acqua, 1°,35; quindi

Calore animale. 100
Calore prodotto dall' acido carb. . 48,5 } 74,5
Calore prodotto dall' acqua. . . . . . 26,0 }

10ª *Esperienza*

Gatto maschio, in età di più di 2 anni.
Durata dell'esperienza, 1ora 35′

Volume d' aria, a 9°,47 = 47lit.,887 { 10,055 ossigene; 37,830 azoto }

Dopo la respirazione. . . . . . 47lit.,535 { 2,060 acido carbon.; 7,125 ossigene; 38,354 azoto }

Acido formato. 2lit.,060
Ossigene sparito. . . . . 0 ,870
Azoto sprigionato. . . . 0 ,524
Ossigene sparito = $\frac{9}{21}$ dell' acido formato
= $\frac{9}{29}$ dell' ossigene totale consumato.
Azoto sprigionato = $\frac{5}{9}$ dell' ossigene sparito
= $\frac{5}{21}$ dell'acido formato.

Elevazione della temperatura di 25387,5 grammi d' acqua, 0°,58 ; quindi

Calore animale. 100
Calore prod dall' acido carbonico. . 57,7 } 80,6
Calore prodotto dall' acqua. . . . . . . 22,9 }

11.ª *Esperienza*

Tre piccioni maschi adulti.
Durata dell' esperienza, 1ora 32′

Volume d' aria, a 9°,75 = 47lit.,674 { 10,012 ossigene; 37,662 azoto }

Dopo la respirazione. . 47,650 { 2,451 acido; 6,826 ossigene; 38,373 azoto }

Acido carbonico formato. 2,451
Ossigene sparito. 0,735
Azoto sprigionato. 0,710
Ossigene sparito = $\frac{7}{25}$ dell' acido formato
Azoto sprigionato = $\frac{13}{14}$ dell' ossigene sparito
= $\frac{7}{25}$ dell' acido formato.

Elevazione della temperatura di 25387, 5 grammi d'acqua, 0°,644 ; quindi

Calore animale. 100
Calore prodotto dall' acido carbon. . 60,5 } 78,8
Calore prodotto dall' acqua. . . . . . 18,3 }

12.ª *Esperienza*

Cane adulto
Calore animale. 100
Calore prodotto dall'acido carbon. 58,3 } 79,2
Calore prodotto dall'acqua. 20,9

13.ª *Esperienza*

Gallo adulto
Calore animale. 100
Calore prodotto dall'acido carbon. 60,5 } 79,7
Calore prodotto dall'acqua. 19,2

14.ª *Esperienza*

Grande Allocco della Virginia adulto
Durata dell'esperienza, 1ora 25′

Volume d'aria, a 7° = 48lit.,136 { 10,109 ossigene, 38,027 azoto

Volume dopo la respirazione, ridotto a 7° . . = 47lit.,838 { 1,601 acido carbonico, 7,483 ossigene, 38,754 azoto

Acido formato. 1,601
Ossigene sparito. 1,025
Azoto sprigionato. 0,727
Ossigene sparito = $\frac{10}{16}$ dell'acido formato
Azoto sprigionato = $\frac{7}{10}$ dell'ossigene sparito = $\frac{7}{16}$ dell'acido formato.

Elevazione della temperatura di 25187,5 grammi d'acqua, 0°,55; quindi

Calore animale. 100
Calore prodotto dall'acido carbonico. 47,4 } 77,0
Calore prodotto dall'acqua. 29,6

Da ciò si vede, che relativamente all'esalazione dell'azoto, v'è la stessa differenza che per i mammiferi.

15.ª *Esperienza*

Quattro civette.
Calore animale. 100
Calore prodotto dall'acido carbon. 56 3 } 74,6
Calore prodotto dall'acqua. 18,3

16.ª *Esperienza*

Quattro gazze nutrite di carne
Calore animale. 100
Calore prodotto dall'acido carbon. 57,6 }
Calore prodotto dall' acqua. . . . . 17,8 } 75,4

La massa d' acqua non è eguale in tutte le esperienze, perchè non è stato adoprato sempre lo stesso calorimetro.

Il volume dell'aria dopo l' esperienza è sempre ad una temperatura un poco più alta che sul principio; ma col calcolo è stato ridotto il volume alla temperatura iniziale.

Ora possono ammettersi come verità incontrastabili,

1.ª Che la respirazione è la causa principale dello sviluppo del calore animale; e che l' assimilazione, il moto del sangue l' attrito delle diverse parti, e forse il sistema nervoso, possono produrre quella piccola porzione che non si presenta nella respirazione.

2.ª Che oltre l' ossigene impiegato per la formazione dell'acido carbonico, un' altra porzione di questo gas, la quale è qualche volta molto considerevole, relativamente alla prima, sparisce essa pure; sul che alcuni credono che essa sia impiegata per la combustione dell' idrogene del sangue: in generale poi sparisce più ossigene nella respirazione degli animali giovani, che in quella degli adulti.

3.ª Che v' è esalazione d' azoto nella respirazione dei mammiferi carnivori o frugivori, e in quella degli uccelli; e che i frugivori esalano più azoto dei carnivori.

4.ª Che nello sviluppo del calore animale, la respirazione nei carnivori produce una porzione meno considerevole del calore animale totale, di quello che nei frugivori; e che lo stesso è degli uccelli, paragonati con i mammiferi.

Più di dugento esperienze sono state fatte ad epoche e in stagioni diverse sopra anitre adulte e giovani, sopra galline, galli, pulcini, piccioni adulti e giovani, bozagri, allocchi, gazze, civette, cani e gatti adulti e giovani; e sempre si sono ottenuti resultamenti analoghi ai precedenti.

In nessuna esperienza la respirazione non ha prodotto nè meno di $\frac{7}{10}$ nè più di $\frac{9}{10}$ di tutto il calore emesso dall' animale; anzi il rapporto di $\frac{9}{10}$ non è resultato che in animali giovanissimi, i quali perdono qualche volta una porzione del loro proprio calore. Un poco minore è stato il resultamento ottenuto da Dulong in esperienze che non ha pubblicate, e nelle quali egli riceveva l' aria in un gassometro ove essa era separata dall'acqua per mezzo di un galleggiante; e nei calcoli delle quali si è servito dei

datiche gli somministrava Lavoisier e Laplace sulla combustione. Altre esperienze potrei citare su questo proposito, riferite in una mia Memoria coronata dall' Accademia di Francia, ed eseguite specialmente sopra alcuni uccelli da preda piuttosto rari, lasciati a mia disposizione dal celebre Federigo Cuvier, tanto protettore di chi coltiva le scienze, quanto famoso coltivatore delle medesime. In seguito mi occupai ancora in altre ricerche relative all'influenza della quantità d'ossigene dell'aria; nel paragonare tutto il calore animale col calore della respirazione, prendendo il carbonio e l'idrogene in stato liquido; nell' esaminare la respirazione dei rettili ec.: ma per il presente scopo basterà l'aver indicato i principali resultamenti ottenuti sugli animali a sangue caldo, posti nelle circostanze ordinarie.

FINE

TAVOLA

Delle Gravità specifiche di alcune sostanze

	Grav. specif.
Acqua stillata (*Unità di gravità specifica*)	1,000
1.° *Corpi solidi metallici*	
Platino puro.	20,722
——— battuto e lavorato fino a	23,000
Oro puro fuso.	19,258
Oro puro lavorato. . .	19,361
Piombo	11,352
Argento puro fuso. . .	10,784
Argento monetato in Toscana	10,175
Bismuto	9,822
Rame puro.	9,000
Ottone fuso	8,395 8,87
Ferro fuso.	7,645 7,788
Ferro lavorato.	7,875 8,778
Acciaio.	7,767 7,833
Acciaio temperato. . .	7,752 7,816
Stagno fuso	7,264 7,291
Stagno lavorato	7,299
Zinco fuso.	6,861 7,100
Zinco rincotto.	7,19
2.° *Corpi combustibili*	
Solfo.	1,990
Diamante	3,521

	Grav. specif.
3.° *Corpi solidi pietrosi*	
Flint francese	3,200
Crown francese. . . .	2,487
Vetro bianco	2,4 2,5
Vetro verde ordinario.	2,5 2,6
Sal comune	1,918
Corallo rosso	2,689
Marmo bianco di Paros.	2,838
——— di Carrara. . .	2,670 2,716
——— giallo di Siena.	2,477
——— nero d'Italia .	2,712
——— lumachella. . .	2,675
——— cipollino . . .	2,726
——— violetto di Roma	2,755
——— gabro di Firenze	2,430
Alabastro orientale bianco antico . . .	2,730 2,581
Cristallo di monte . .	2,653 2,888
Pietra da fucile. . . .	2,536 2.602
Terra argilla.	2,415
Pietra forte	2,077
Porcellana di Sevres .	2,145
4.° *Materie solide provenienti da corpi organizzati*	
Cera bianca	0,954 0.960
Sevo	0,941
Avorio	1,825
Burro	0,942

	Grav. specif.		Grav. specif.
Querce fresca	1,930	Ammoniaca	1.420
——— secca	1,670	Olio di lino.	0,940
Melo	0.793	Olio d' oliva.	0,915
Pero	0.661	Alcool di commercio .	0,837
Susino	0,785		0,716
Ciriegio	0,715	Etere solforico . . . . }	
Cipresso	0.644		0,745
Faggio	0,852	Acqua marina	1,030
Abete a fiore maschio.	0,550	Birra.	1,023
Abete a fiore femina .	0,498	Orina umana	1,011
Sughero	0,240		
Acero	0,755		
Tiglio	0,604	6.° *Gas alla temperatura di* 0°	
Pioppo	0,383		
Ulivo.	0,927		
Ebano d'America . . .	1,331		
		Aria atmosferica (*Unità di gravità specifica per i gas*) (1)	1,0000
5.° *Corpi liquidi*		Gas acido carbonico .	1,51961
		Gas ossigene.	0,96913
Mercurio	13,586	Gas azoto	0,59669
Acido solforico concentrato	1,850	Gas ammoniaco . . .	0,07321
Acido nitrico concentrato	1,554	Gas idrogene	0,51921
		VAPORE ACQUOSO alla temperatura di 100°	0,622

(1) Il decimetro cubico d'aria atmosferica, a 0°, pesa $1^{gram.}$,2936.

TAVOLA

Di riduzione delle Misure di Capacità *a piedi e pinte francesi*

	Pie. cub. franc.	Pinte fr.
Tonnellata comune francese (3 *botti*).	24	864
Botte.	8	288
Foglietta (½ *botte*).	4	144
	Poll. cub.	Pinte
Barile francese.	1728	36
—— fiorentino da vino (20 *fiaschi*).	3297	68
—— ——— da olio (16 *fiaschi*).	2637	55
Gallon francese	192	4
Boccale francese	96	2
Pinta (1).	48	1
Fiasco da vino (4 *mezzette*).	164	3½
—— da olio	132	

(1) La Tonnellata, il Gallon e la Pinta inglesi, sono un poco maggiori delle francesi.

TAVOLA

Di riduzione delle Misure Lineari *più comuni al piede di Parigi*

	Piedi	Poll.	Lin.
Metro (1).	3	—	11,3
Lega (2) terrestre di Parigi = 4444 metri = Braccia fiorent. *a panno* 7618 = 2 $\frac{2}{3}$ miglia fiorent.	13688	—	—
Passo geometrico parigino. . . .	5	—	—
Tesa parigina.	6	—	—
Auna parigina	3	7	10,8
—— inglese (*yard*)	3	7	8
Pertica o Canna fiorentina di B.ª 5 $\frac{1}{2}$ *a panno* comuni. .	10	2	2
——— agrimensoria usuale di Braccia 5.	8	11	8
——— parigina { grande . . .	22	—	—
——— parigina { piccola . . .	18	—	—
Braccio di Firenze usuale *a panno* (3).	1	9	6,7
——— Lucca	1	9	6,5
——— Milano.	1	9	9,3
——— Modena	1	11	5,2
——— Torino.	1	6	11,7
——— Venezia	1	—	10
Palmo romano usuale.	—	8	3
—— di Napoli.	—	9	8,2
Piede inglese di Vienna.	—	11	3,12

(1) Paragonando la grandezza dell'arco terrestre, che si estende da Barcellona fino a Dunkerque, quale resulta dalle operazioni fatte da Delambre e Mechain, con quella dell' arco misurato al Perù verso l' an. 1740, è stato concluso che la distanza cercata, ossia il quarto del meridiano situato verso il polo boreale, era di 5130740 tese; in conseguenza il metro corrisponde ad una lunghezza di 0^{tese},513074, ossia 3 piedi, 11 linee e $\frac{3}{10}$ incirca. Le suddivisioni del metro in parti suddecuple si chiamano *decimetro*, *centimetro*, *millimetro*, ec. e i suoi multipli decimali, *decametro*, *ettometro*, *chilometro*, ec; A ridurre facilmente per approssimazione in misura di metro una misura data in piedi, si può osservare che il millimetro è prossimamente eguale a $\frac{4}{9}$ di linea, ossia la linea è eguale a $\frac{9}{4}$ di millimetro: così un pollice è eguale a 27 millimetri.

(2) La lega di posta in Francia si calcola 2000 tese, ossia 12000 piedi.

(3) Il braccio *a terra*, il quale sta al braccio *a panno* nel rapporto di 17 : 18, cioè è soldi 18,89 di quello, fu abolito per Legge di Leopoldo I. G. D. di Toscana.

TAVOLA

Di riduzione dei Pesi Moderni *di diverse Nazioni*, *a Libbre parigine e fiorentine*

	Lib. parig.			Lib. fior.		
	Once	grossi	grani	Once	dan.	gr.
Berlino (*Libbra di 2 marchi*)	15	2	32	16	13	5,1
Costantinopoli (*Ckeki*)	10	3	28	11	6	12,5
Londra (*Libbra, troy*) (1)	12	1½	1	13	4	8,1
Monaco (*Libbra di 2 marchi*)	15	2	23	16	12	19,5
Modena	11	—	67,1	12	—	12
Napoli (*Libbra*)	10	3½	27	11	8	2,2
(*rotolo*)	29	½	35	31	11	19,7
Reno (*di 7680 gr. Ren.*)	12	—	32	13	1	—
Roma (*Libbra*)	11	½	14	11	23	17,5
Torino (*Libbra comune di 12 onc.*)	10	—	27,5	13	—	22,7
Vienna (*Libbra di 2 marchi nel commercio*)	18	2	32	19	19	2
——— *nella zecca.*	18	2	52	19	19	23,5
Firenze (*Libbra di 12 once*) (2)	11	½	20	12	—	—
Parigi (*Libbra di 2 marchi*) (3)	16	—	—	17	17	15,7
Chilogrammo (4)	32	½	35	18	1	0,9

(1) Libbre 2000 inglesi formano il *tun*.

(2) Divisione della Libbra di Firenze

grani				
24	danaro			
72	3	dramma o grosso		
576	24	8	oncia	
6912	288	96	12	Libbra = 340 grammi.

(3) Divisione della Libbra di Parigi

grani					
24	danaro				
72	3	grosso o dramma			
576	24	8	oncia		
4608	192	64	8	marco	
9216	384	128	16	2	Libbra = ½ chilogrammo = 500 grammi

(4) Il *grammo* o l'unità di peso corrisponde quasi a 19 grani. Il *cantaro* comune è libbre fiorentine 150 = 51 chilogrammi; e il *quintale* è ℔ 100 = 33,9 chilogrammi.

P R

DEI RESULTAME

Dall' Anno 1821 *inclus*

	BAROMETRO					TE	
	Altezza media	Altezza massima	Giorno in cui ha avuto luogo	Altezza minima	Giorno in cui ha avuto luogo	Altezza media	Altezz massim
	pol. l.	pol. l.		pol. l.			
1821	28. 0,52	28. 8,55	7 Febbraio	27. 1 ,9	25 Decemb.	12°,9	27°,8
1822	28. 1,2	28. 6,6	1 Marzo	27. 6 ,7	6 Gennaio	12 ,9	28 ,0
1823	27. 11,8	28. 5,3	22 Novemb.	26. 9 ,65	2 Febbraio	12 ,2	26 ,0
1824	28. 0,2	28. 6,4	31 Decemb.	26. 11 ,2	2 Marzo	11 ,9	27 ,6
1825	28. 0,6	28. 6,3	1 Gennaio	27. 2 ,2	20 Ottobre	11 ,9	26 ,5
1826	28. 0,3	28. 5,3	6 Febbraio	27. 4 ,1	26 Novemb.	11 ,6	26 ,3
1827	27. 11,9	28. 4,6	27 Febbraio	27. 3 ,1	18 Marzo	11 ,6	26 ,9
1828	28. 0,5	28. 7,6	19 Gennaio	27. 4 ,3	6 Marzo	12 ,0	27 ,8
1829	27. 11,6	28. 5,3	12 Decemb.	27. 1 ,4	5 Gennaio	11 ,2	26 ,8

PETTO

I METEOROLOGICI

nte, fino a tutto il 1829

OMETRO			TOTALE			DIFFERENZA massima delle altezze barometriche	DIFFERENZA massima delle altezze termometriche
Giorno in cui ha avuto luogo	Altezza minima	Giorno in cui ha avuto luogo	della pioggia	dei giorni piovosi	dei giorni sereni		
4 Agosto	— 3°,1	17 Decemb.	pol. 30 ,30	101	173	pol. l. 1. 6 ,65	30°,9
3 Giugno	— 1 ,2	29 Decemb.	28 ,67	102	200	0. 11 ,9	29 ,2
5-29 Agos.	— 2 ,0	1-3 Gennaio	34 ,90	121	185	1. 7 ,65	28 ,0
4 Agosto	— 2 ,0	19 Gennaio	33 ,60	103	164	1. 7 ,2	29 ,6
0 Luglio	— 0 ,6	15 Marzo	24 ,27	40	189	1. 4 ,1	27 ,1
3 Agosto	— 1 ,1	17 Gennaio	42 ,26	130	109	1. 1 ,2	27 ,4
9 Luglio	— 4 ,2	20 Gennaio	29 ,53	126	140	1. 1 ,5	31 ,1
8 Luglio	— 1 ,2	17 Febbraio	26 ,71	90	167	1. 3 ,3	29 ,0
5 Luglio	— 3 ,6	30 Decemb.	32 ,58	111	158	1. 3 ,9	30 ,4

TAVOLA ALFABETICA

DELLE MATERIE CONTENUTE IN QUESTO TRATTATO

A

B

D

E

F

G

L

M

N

O

P

Q

R

* *Vedi la nota apposta alla Tavola delle Correzioni in principio dell'opera.*

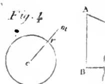
S

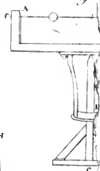
T

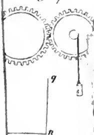
U

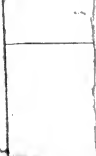
V

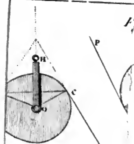
Z


Fig. 4
A
B


Fig.
A
C
H


Fig. 17


g
n
g. 25


H
C
P
D
Fig 31

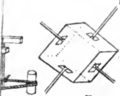
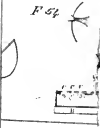

Fig 3


Fig 45
B


F 54



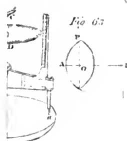


Fig. 63

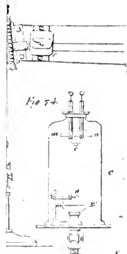


Fig. 74.

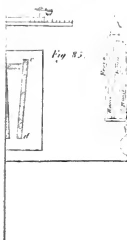
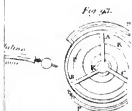
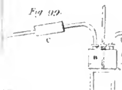
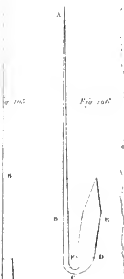
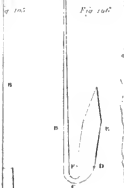


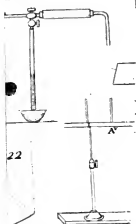
Fig. 85.

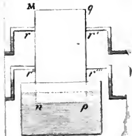

Fig. 98.
A
K
C
E
P


Fig. 99.
C
B

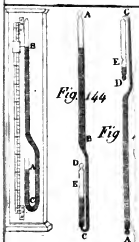

Fig. 106.
A
B
E
D
C

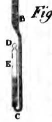



ig. 116
A'
22

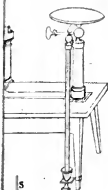

Fig 132
M
q
r
r'
r''
r'''
n
p

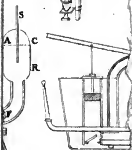

O
C
H
Fig 139

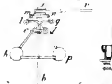


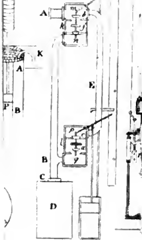


Fi






Fig 174
a
b
h
p


Fig 177
A
E
B
C
D

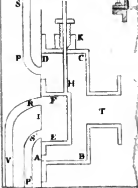

Fig 178
S
P
D
C
K
H
R
F
I
T
S
E
A
B
V
P



Fig. 186.

Fig. 187.



Fig. 193

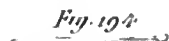


Fig. 194.

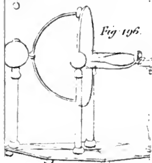


Fig. 196.

Fig. 202.



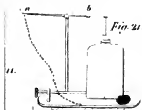


Fig. 212

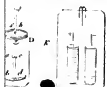
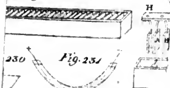


Fig. 217.


Fig. 226
H
H


230
Fig. 231


Fig. 232




Fig 235

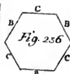
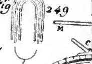

C
B
B
Fig. 236
C
C
B




Fig 249


M
C
C
D
C'
Fig. 258


k
m
Fig. 257
n
A

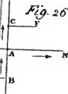
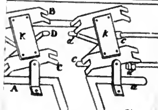
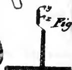
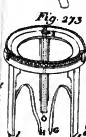

Fig. 264
C
F
A
N
B

Fig. 270


B
K
D
C
A
k
c


Fig


Fig. 273

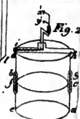

Fig. 2

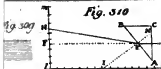

Fig. 291


Fig. 290
a
b
d
c


Fig. 2


Fig. 305
H'
P'
C


A



ig. 309

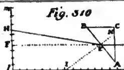


Fig. 310

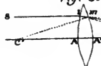


Fig. 31

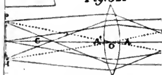


Fig. 321

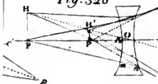
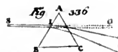


Fig. 326



335
Fig 336



343



Fig 344



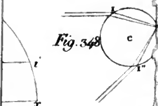
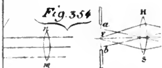
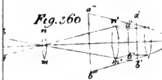
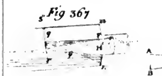
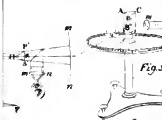


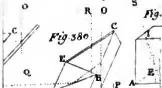
Fig. 348


Fig. 354
n
m
a
F
b
H
S


Fig. 360
n
m
a"
b"
n'
m'
a'
b'


Fig 367
s
m
H'


A
B
C
m
n
Fig.3


R
O
S
C
Fig. 380
E
Q
A
B
D

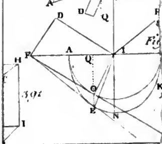

P
D
Q
F
A
I
H
O
E
N
K
391

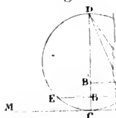


Fig. 405.





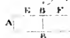
Fig. 409



.13

B

Fig 4

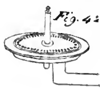


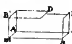
.14

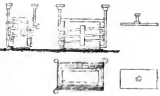
Fig. 4

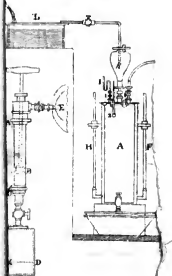



Fig. 425
g
D
H
B
E
A
C
P
g

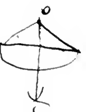

Fig. 42


Fig. 427
B
D
A




L
E
H
A
F
D

sciocco senza giudizio.





L' ome

[illegible]

[redacted] conte di Scorpevio, membro accademico dei Scinemniti

6 E E

